



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**KIM LEPPÄNEN**

**SISÄILMAONGELMIEN TUTKIMINEN**

Diplomityö

Prof. Matti Pentti (TTY), hyväksytty  
tarkastajiksi rakennetunympäristön tie-  
dekuntaneuvoston kokouksessa  
04/2014.

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**LEPPÄNEN, KIM:** Sisäilmaongelmien tutkiminen

Diplomityö, 88 sivua, 1 liite (1 sivu)

Tammikuu 2016

Pääaine: Talonrakentaminen

Työn tarkastajat: professori Matti Pentti

Avainsanat: Sisäilma, kuntotutkimukset, kuntotutkimusten ohjeistus, sisäilma-ongelmat

Sisäilmaongelmat ovat usein peräisin monesta eri asiasta tai asioiden yhdistelmästä. Huonot sisäilmaolosuhteet ovat haitallisia terveydelle ja heikentävät viihtyvyyttä sekä työtehoa rakennuksissa. Yleisiä huonon sisäilman aiheuttamia oireita voivat olla päänsärky, väsymys, limakalvojen ja ihon oireet sekä yskä. Pahimmassa tapauksessa sisäilmaongelmat saattavat toimia erilaisten sairauksien puhkeamisen aiheuttajina, kuten astman. Suomessa sisäilmaongelmat tuntuvat olevan kasvussa tai niihin kiinnitetään enemmän huomiota kuin ennen. Sisäilman tutkiminen kehittyy kokoajan kovaa vahtia ja uusia tehokkaampia tutkimusmenetelmiä tulee lisää. Tämän työn tavoitteena on ollut koota ja avata tämän hetken käytössä olevia tutkimusmenetelmiä ja selvittää niiden olennaisimmat asiat.

Työssä on esitelty sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi tarvittavia tutkimusmenetelmiä kuten, VOC- ja PAH-näytteenotto, mikrobitutkimukset, kosteusmittaukset ja haitta-ainekartoitukset sekä niiden suorittamista ja tulosten raja-arvoja. Työssä käsitellään sisäilmatutkimusten kokonaisuutta ja sisältöä. Lisäksi työssä esitellään tutkimushankkeen tehokas läpivienti. Työhön on koottu hajallaan olevaa tutkimustietoa ja haastateltu alan asiantuntijoita.

Tutkimustyön tuloksena on pohjatieto-opas tutkimusmenetelmistä uusille sisäilmatutkijoille tai henkilöille, jotka ovat tekemisissä sisäilmatutkimusten kanssa. Aiheen monimuotoisuuden takia uusilla tutkijoilla on tämän ohjeen lisäksi oltava kokemusta tutkimustyöstä ja rakennusteknistä näkemystä, jonka avulla sisäilmaongelmia voidaan ratkaista onnistuneesti.

Sisäilmaongelmien ratkaisemisessa lähtökohtana on oikeiden tutkimusmenetelmien valinta ja tulosten oikea tulkinta. Johtopäätöksissä ja korjauskehoituksissa pitää osata huomioida yksilöllisesti tutkittava rakennus ja sen käyttötarkoitus, jotta saavutetaan tarkoituksenmukainen sisäilmasto kustannustehokkaasti. Sisäilmaston pitää aina olla käyttäjille turvallinen.

Laadukkaiden sisäilmatutkimusten edistämiseksi tutkijoiden tulisi tuntea kaikki mahdolliset tutkimusmenetelmät ja päivittää omaa osaamista uusien tietojen valossa. Tutkiminen kehittyy kokoajan eteenpäin, joten alalla työskentely vaatii jatkuvaa oppimista ja tietojen päivittämistä.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**LEPPÄNEN, KIM:** Investigation of indoor air problems

Master of Science Thesis, 88 pages, 1 appendices (1 pages)

January 2016

Major: Building construction

Examiners: Professor Matti Pentti

Keywords: Indoor air, condition surveys, instructions for condition surveys, Indoor air quality issues

Indoor air quality issues are often caused by many different things, or by a combination of things. Poor indoor air conditions are harmful for health and degrade comfortability and work efficiency in buildings. Common symptoms caused by poor indoor quality are headaches, fatigue, symptoms on skin and mucous, and cough. In worst cases, indoor air quality issues can trigger different illnesses, such as asthma. In Finland, indoor air quality issues seem to be increasing, or there is more attention on those issues than before. Indoor air quality examinations are advancing rapidly and new, more efficient examination methods are coming. The aim of this study is to compile and explain the examination methods used currently and clarify their most relevant matters.

This study presents examination methods needed to resolve indoor air quality issues, such as VOC- and PAH-sampling, microbial examination, moisture measurement and contaminant mapping, the performance of those examinations and threshold limit values of the outcomes. This study covers the entirety of indoor air quality examinations and their contents. In addition, this study introduces an efficient way to carry out an examination project. Scattered research knowledge has been compiled and experts of this field have been interviewed for this study.

The outcome of this study is a basic guide book of examination methods for new indoor air examiners and for those, who are dealing with indoor air quality examinations. Due to the diversity of this subject, new examiners have to have experience of examinations and understanding of civil engineering in addition to this guide, in order to successfully resolve indoor air quality issues.

The foundation of resolving indoor air quality issues is the right choice of examination methods and the right interpretation of results. The building and its use have to be taken into account in conclusions and repair suggestions, in order to achieve appropriate indoor climate cost-efficiently. Indoor climate has to be always safe for users.

To promote sterling indoor air examinations, examiners should know all the possible examination methods and update their skills in the light of new knowledge. Examinations develop and advance all the time, so working in this field requires continuous learning and updating of knowledge.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty WSP Finlandin avustuksella osana diplomi-insinööri tutkintoa. Työn ohjaamisesta vastasi professori Matti Pentti Tampereen teknillisestä yliopistosta. WSP Finlandilta opastusta ja ajatuksia antoivat pääasiassa Markus Fränti ja Jaakko Koskinen. Lisäksi kosteusteknisistä asioista sain kommentointia Jommi Suonkedolta Tampereen teknilliseltä yliopistolta.

Työn ansiosta pääsin tutustumaan hyvin laajasti sisäilmaongelmien tutkimusmenetelmiin. Työtä tehdessä ymmärsin kuinka paljon asioita voidaan tutkia, mutta kuinka vähän silti tiedetään kaikesta mahdollisesta. Työn ansiosta osaan suhtautua kriittisemmin tehtyihin sisäilmatutkimuksiin ja ymmärrän paremmin alan monimuotoisuuden. Tutkimustyön kehittäminen ja itsensä kehittäminen tutkijana on ikuinen prosessi.

Haluan kiittää WSP Finlandia mahdollisuudesta tehdä tämä diplomityö ja kaikkia ihmisiä, jotka ovat olleet kanssani keskustelemassa sisäilmatutkimuksista ja ongelmista. Erityiskiitos kuuluu Matti Pentille hyvästä opastuksesta ja neuvoista. Opiskelun, työssöolon, yrittäjyyden ja kilpaurheilun yhdistäminen ei ollut kivuton projekti, mutta kotiväki ja läheiset ystävät auttoivat aina jaksamaan eteenpäin. Kiitoksia Outi Harju kun olet aina jaksanut tukea, ymmärtää ja auttaa vaikka tavoitteeni ovatkin olleet epärealistisen korkealla välillä asiassa kuin asiassa.

Tampereella 5.1.2016

---

Kim Leppänen

# SISÄLLYS

1	Johdanto .....	1
1.1	Työn lähtökohdat .....	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset .....	2
1.3	Tutkimusmenetelmä .....	2
2	Sisäilmaston laatuun vaikuttavat tekijät .....	3
2.1	Sisäilma .....	3
2.2	Kemialliset ja orgaaniset päästöt sisäilmassa .....	3
3	Kuntotutkimusten yleiset periaatteet .....	7
3.1	Kuntotutkimusten tavoitteet .....	7
3.2	Sisäilman kuntotutkimukset .....	8
3.3	Vuorovaikutus käyttäjien kanssa sisäilmakuntotutkimuksissa .....	9
4	Sisäilmaongelman aiheuttajat ja oireet .....	11
4.1	PAH-yhdisteet .....	11
4.2	VOC-yhdisteet .....	12
4.3	Radon .....	14
4.4	Otsoni .....	15
4.5	Hiilidioksidi <b>CO<sub>2</sub></b> .....	16
4.6	Hiilimonoksidi CO (Häkä) .....	16
4.7	Ammoniakki .....	17
4.8	Mikrobit .....	18
4.9	Asbesti .....	19
4.10	Mineraalivillat ja pölyt .....	19
4.11	Ilman RH% .....	20
4.12	Pilaantuneet maa-aineet .....	20
4.13	Muut tekijät .....	21
5	Sisäilmatutkimusmenetelmät ja ohjeet .....	22
5.1	Sisäilma- ja käyttäjäkyselyt .....	23
5.2	Riskirakenneanalyysi .....	24
5.3	Aistinvaraiset havainnot .....	26
5.4	Materiaalien tunnistaminen .....	27
5.5	Kosteusmittaukset .....	28
5.5.1	Pintakosteusmittaukset .....	30
5.5.2	Rakennekosteusmittaukset (materiaalin RH%) .....	31
5.5.3	Ilmankosteusmittaukset (RH%) .....	34
5.6	Rakenneavaukset .....	36
5.7	Mikrobitutkimukset .....	38
5.7.1	Materiaalimikrobinäytteet ja niiden toteuttaminen .....	39
5.7.2	Raja-arvot ja niiden tulkinta materiaalimikrobinäytteissä .....	40
5.7.3	Mikrobipintanäytteet ja niiden toteuttaminen .....	41
5.7.4	Raja-arvot ja niiden tulkinta mikrobipintanäytteissä .....	42

5.7.5	Mikrobi-ilmanäyte ja sen toteuttaminen .....	43
5.7.6	Raja-arvot ja niiden tulkinta mikrobi-ilmanäytteissä.....	45
5.8	PAH-mittaukset.....	46
5.9	VOC-mittaukset .....	47
5.9.1	Aldehydit .....	49
5.9.2	Styreeni .....	50
5.10	Radon-mittaukset ( <sup>222</sup> Rn) .....	50
5.11	Otsoni-mittaukset .....	52
5.12	Hiilidioksidin mittaus <b>CO<sub>2</sub></b> .....	52
5.13	Hiilimonoksidin mittaus CO (Häkä) .....	54
5.14	Ammoniakin mittaus.....	54
5.15	Asbesti-tutkimukset .....	55
5.16	Hiukkasmittaukset (kuidut, pölyt).....	56
5.17	Pilaantuneiden maa-ainesten tutkimukset.....	57
5.18	Paineolosuhdemittaukset.....	57
5.19	Rakennuksen ulkovaipan ilmavuodot (tiivysmittaukset).....	60
5.20	Merkkisavukokeet.....	62
5.21	Merkkiainekokeet (jälkiainemittaukset).....	63
5.22	Lämpökuvaukset .....	65
5.23	Lämpötilojen mittaukset.....	68
5.24	Ilmanvaihdon tutkiminen .....	68
5.25	Pieneliöiden tutkiminen .....	70
6	Käytännön ja ohjeistuksien kohtaaminen.....	72
7	Sisäilman kuntotutkimushankkeen läpivienti .....	73
8	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	77
	Lähteet.....	80
	Liitteet .....	89

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn lähtökohdat

Sisäilmaongelmat ovat nousseet koko ajan enemmän esille rakennusosalalla ja mediassa. Kiristyneet rakentamismääräykset ovat sekä nostaneet keskusteluun että kyseenalaistaneet sisäilman laadun takaamisen ja rakennusten fysikaalisen toimivuuden tulevaisuudessa. Ympäristöministeriössä asti ollaan huolissaan lisääntyneistä sisäilma- ja homeongelmista, jotka aiheuttavat arviolta noin kolmen miljardin kustannukset yhteiskunnalle vuosittain (Valtioneuvos 2010). Tällä hetkellä on käynnissä useita kansallisia home- ja sisäilmakampanjoita. Kampanjoilla yritetään lisätä yleistä tietoutta rakennusten mahdollisista ongelmista sekä kertoa korjaavia ja ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä.

Sisäilmasto-olosuhteiden hallitseminen rakennuksissa ei kuulu yksin kenenkään ammattilaisen hallintaan, vaan kokonaisuuden hallinta vaatii useimmiten useamman alan ammattilaisen tietoutta. Sisäilmastoasioita tutkittaessa ja suunniteltaessa tulisi toimia poikkitieteellisesti, jotta voitaisiin saavuttaa tehokas lopputulos kokonaisuuden kannalta. Usein ongelmat sisäilmassa eivät ole yksiselitteisiä ja syy-seuraussuhteet ovat epäselviä.

Laadukkaan sisäilman määrittämistä vaikeuttaa epäselvät ja vaihtelevat raja-arvot ilmassa olevien eri aineiden sallituissa pitoisuuksissa. Suomessa on viime aikoina vaikiintunut haitta-aineiden pitoisuusarvoiksi ”Asumisterveysohje 2003:n” arvot. Asumisterveysohje muutoksilla muuttuu määräyksiksi 1.3.2015 ja ohje tullaan päivittämään asetukseksi kelpaavaan muotoon (Hallituksen esitys 2014). Uuden asumisterveysasetuksen raja-arvot eivät vielä ole absoluuttinen totuus eri haitta-aineiden vaikuttavista pitoisuuksista, sillä ihmiset reagoivat eri tavalla ja herkkyydellä haitta-aineisiin. Uusi asetus auttaa sisäilmatutkijoita raportoimaan vertailukelpoisemmin sisäilman laadusta, kun on olemassa yhteiset raja-arvot tutkimustuloksille.

Rakennusosalalla kuntotutkimuksille on luotu ohjeistuksia ja teoksia. Muun muassa julkisivuille on olemassa erillisiä kuntotutkimusohjeita, mutta rakennuksen sisäpuoleisille tutkimuksille ei ole kaiken kattavaa omaa teosta. Erillisten kuntotutkimusohjeiden määrä on hyvin suppea ja alalla onkin pulaa uusista päivitetyistä ohjeista ja oppaista (Fränti 2014). Suurin osa lähteistä on valtion virastojen, erilaisten alan liittojen ja tutkimusorganisaation tuottamia. Usein kuitenkin kuntotutkimuksia tekevät yritykset ovat kehittäneet omia toimintatapoja selkeiden ohjeiden puuttuessa. Rakennusten kuntotutkimuksien merkitys sekä määrä ovat kasvamassa ja opetusta kehitetään koko ajan. Lisäksi kuntotutkijoiden pätevyitymisjärjestelmää kehitetään, jotta markkinoilla olisi saatavilla päteviä ammattihenkilöitä (Hallituksen esitys 2014). Nykyisin kuntotutkijan pä-

tevyiksi on useilla erillisillä osa-alueilla, kuten julkisivuilla ja betonirakenteilla. Tällä hetkellä ei ole olemassa yhtä yleistä kuntotutkijan pätevyyttä. Aiheen monialaisuus ja laajat tietämysvaatimukset asettavat kuntotutkimuksen pätevyyskoulutukselle haasteita.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tavoitteena on luoda WSP Finland Oy yritykselle sisäilman kuntotutkimuksiin mahdollisimman kattava opas tämän hetken tutkimusmenetelmistä, ohjeista ja asetuksista. Työssä on myös tavoitteena selvittää ohjeistuksien ja käytännön kohtaamista kuntotutkimuksissa. Työn tarkoituksena on olla suoraan käytäntöön sovellettava ja kattava teos, jonka avulla uudet sisäilman kuntotutkijat saavat perustiedot käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Tutkimuksessa on käsitelty vain sisäilmaston kuntotutkimuksiin liittyviä asioita.

Ohjeen luomisessa tutkimusmenetelmiä on käsitelty suurien ja mittavien kuntotutkimuskohteiden näkökulmasta, jotka ovat WSP:n erikoisalaa. Usein eri menetelmät ovat käytettävissä erikokoisissa kohteissa, mutta teollisuus-, koulu-, ja suuret toimistorakennukset asettavat omat haasteensa tulosten analysointiin.

Tämän työn avulla yrityksen uudet kuntotutkijat saavat käsityksen sisäilmaston kuntotutkimuksiin kuuluvista asioista. Ohjeistuksien koonti ja sovellukset helpottavat myös vanhempia kuntotutkijoita esimerkiksi lähdekirjallisuuden löytämisessä.

## 1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksessa on esitelty Suomessa käytössä olevia sisäilman tutkimusmenetelmiä ja niiden ohjeistuksia. Sisäilman haitta-aineille käytettyjä raja-arvoja on kerätty eri lähteistä ja niiden tulkinnan eri mahdollisuudet on tuotu esille. Tietoa on kerätty kirjallisuudesta, raporteista, internetistä, henkilöhaastatteluilla ja sähköpostikyselyillä. Työhön koostettu tieto perustuu asiantuntijoiden antamiin vastauksiin ja omiin kokemuksiin rakennusten sisäilmatutkimuksista.

Tutkimuksessa on pyritty löytämään kaikki yleisesti Suomessa käytetyt sisäilman kuntotutkimusmenetelmät ja tietoa niiden tekemisestä. Jotta kaikista tutkimusmenetelmistä saatiin kirjoitettua, jouduttiin osaa menetelmistä käsittelemään hieman lyhyemmin ja suppeammin kuin toisia.

Tutkimusmenetelmien vertailukohtien löytämiseksi tutkimuksessa on koottu hajallaan olevaa tutkimustietoa sekä käytännön kokemuksia sisäilmatutkimusten suorittamisesta. Lähtökohtana on ollut selvittää mahdollisimman kattavasti kaikki tutkimusmenetelmät ja niissä tärkeimmät huomioitavat asiat sellaisen ihmisen kannalta, joka ei välttämättä ole aikaisemmin ollut tekemisissä kyseisten tutkimusten kanssa.

Haastattelut on toteutettu pääosin käyntihaastatteluina. Kaikki haastateltavat ovat alansa asiantuntijoita ja heillä on laajaa kokemusta sisäilmatutkimuksista. Haastatteluilla selvitettiin eri tutkimusmenetelmien toteutusta käytännössä. Haastatteluilla selvisi paljon hyviä ja huonoja kokemuksia eri tutkimusmenetelmistä sekä niiden toteutuksista.



## 2 SISÄILMASTON LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.1 Sisäilma

Sisäilmaongelmia on ollut aina siitä lähtien, kun ihminen aloitti asumisen sisätiloissa. Ongelmat alettiin huomata vasta 1900-luvun alussa, kun ahtaasti asutetuilla alueilla huonosta hygieniasta aiheutui tautiepidemioita, kuten tuberkuloosiepidemiaa. Tuolloin ei kuitenkaan puhuttua huonosta sisäilmasta samassa merkityksessä kuin nykyään. Nykyisten sisäilman ongelmien lähtökohtana voidaan pitää 1970-luvun energiakriisiä. Ennen 1970-lukua energia oli halpaa ja rakennuksien tiiviyteen ei tarvinnut kiinnittää huomiota energian kulutuksen takia. Huonosti tiivistetyt talot vuotivat paljon ilmaa, joka johti automaattisesti suuriin ilmanvaihtomääriin. Kun energiakriisin jälkeen alettiin rakentaa tiiviimpiä ja paremmin eristettyjä rakennuksia ilman tehokasta ilmanvaihtoa alkoivat sisäilmaongelmat, jota ratkotaan edelleen 2010-lvuulla (Seuri & Palomäki 2000).

Sisäilman laatu muodostuu useista erillisistä tekijöistä, joten sen yksiselitteinen tutkiminen ja laadun määrittäminen on vaikeaa. Sisäilman laadulle voidaan pitää pohjana ulkoilman puhtautta. Sisäilma on käytännössä heikentynyttä ulkoilmaa. Sisäilmaan vaikuttavia perustekijöitä ovat: (Malka & Sundström 2004)

- ulkoilman laatu
- maaperä
- yleiset ilmastotekijät
- sisäilman
  - o lämpötila ja pintojen lämpötila,
  - o suhteellinen kosteus,
  - o kaasumaiset ja hiukkasmaiset epäpuhtaudet,
  - o allergeenit,
  - o sähköiset ominaisuudet,
  - o radioaktiivisuus,
  - o valaisuolosuhteet ja
  - o ilmavirtaukset.

### 2.2 Kemialliset ja orgaaniset päästöt sisäilmassa

Sisäilman laatuun vaikuttavat rakennusmateriaalien kaasumaiset ja hiukkasmaiset päästöt, rakennusten kosteusvauriot ja niiden aiheuttamat rakenteiden mikrobikasvu sekä

home- ja laho-ongelmat (Seuri & Palomäki 2000). On myös todettu, että eri haitta-aineet saattavat muodostaa keskenään vielä haitallisempia yhdisteitä (Tukes 2014).

Haittatekijöitä, jotka heikentävät sisäilman laatua voidaan jakaa kemiallisiin ja fyysikaalisiin tekijöihin. Kemialliset tekijät voidaan jakaa vielä hiukkasmaisiin ja kaasumaisiin epäpuhtauksiin. Kemialliset hiukkaset voidaan vielä jaotella biologisiin ja muihin pienhiukkasiin. Kaasut voidaan vastaavasti jaotella orgaanisiin ja epäorgaanisiin kaasuihin.

Hajut paljastavat usein helposti kemialliset päästöt rakennuksista. Tunnetuimmat kemiallisten päästöjen hajut ovat uuden rakennuksen tai remontoitun kohteen hajut, joita mielletään kuuluvaksi uusille rakennuksille. Sama asia on kyseessä, kun uudessa autossa on sille kuuluva uuden auton ominaishaju. Vaikka usein uutuuden haju mielletään hyväksi ja positiiviseksi asiaksi on kuitenkin kyseessä uusien materiaalien vapauttamien sisäilmaa heikentävät kemikaalipäästöt (Seuri & Palomäki 2000). Vanhoissa rakennuksissakin saattaa jossain vaiheessa ilmetä uusia hajuja, jotka usein indikoivat jonkun rakennusmateriaalin tai osan hajoamisreaktiosta tai heikentyneestä ilmanvaihdosta. Uudis- ja korjauskohteissa uusien materiaalien havaittavat hajut pysyvät ilmassa normaalisti parista viikosta pariin kuukauteen. Tehokas ilmanvaihto nopeuttaa hajujen poistumista rakennuksesta.

Rakennusmateriaalien kemiallisia päästöjä pidetään usein pitkäaikaisina ja ihmisen itse aiheuttamia kemiallisia päästöjä lyhytaikaisina. Altistumisajan pituus vaikuttaa merkittävästi ihmisen riskiin sairastua. Usein uusien rakennusmateriaalien kemialliset päästöt putoavat normaalille tasolle ensimmäisen vuoden aikana (Hengitysliitto 2014a). Ihmisen itse aiheuttamiksi kemiallisiksi päästöiksi voidaan laskea seuraavia asioita:

- tupakointi,
- avoliekit,
- ruuanlaitto,
- pesu- ja puhdistusaineet,
- toimistotarvikkeet, kuten tulostimet yms. kopiointikoneet,
- muut kemikaalit,
- hajusteet ja
- huonekalut.

Rakennusten käytöstä ja toiminnasta voi myös syntyä haitta-aineita sisäilmaan. Rakennuksissa on käytetty ja käytetään paljon erilaisia lämmitysmuotoja ja tekniikoita, joista osa voi vapauttaa haitta-aineita. Haitta-aineiden pääsy sisäilmaan riippuu rakennuksen suunnittelusta ja toteutuksesta. Esimerkiksi takkalämmitys tuottaa avutulen takia paljon hiukkaspäästöjä, joista osa voi päätyä sisäilmaan (Salonen 2004). Kaikki polttoperäiset lämmitysmuodot tuottavat päästöjä ja vikatilanteessa osa päästöistä voi päätyä sisätiloihin. Rakennusmateriaalit vapauttavat päästöjä oman elinkaarensa aikana (Seuri & Palomäki 2000). Huonosti huollettu ilmanvaihtojärjestelmä voi pahimmillaan aiheuttaa epäpuhtauksia ja haitta-aineita sisäilmaan (Holopainen et al. 2012). Ilmanvaihtokoneen suodattimiin kertyy epäpuhtauksia, kuten orgaanista pölyä. Ilmanvaihtokoneen kautta kulkee kokoajan kosteutta ja huonosti toteutetuissa IV-koneissa voi koneeseen

myös kondensoitua vettä. Jos suodattimia ei vaihdeta ja orgaaninen lika pääsee kosketuksiin pitemmäksi aikaa veden kanssa, syntyy mikrobiperäisiä haihtuvia haitta-aineita, joista osa voi päästä ilmanvaihdon mukana sisäilmaan. *Kuva 1* näkyy huonosti huollettu IV-kone, johon on kertynyt likaa tulo- ja poistopuolen suodattimiin. Koneen sisälle on päässyt myös kondensoitumaan merkittävästi vettä huonon kanaviston eristyksen takia. Rakennuksen käytöstä ja toiminnasta aiheutuviksi päästöiksi voidaan laskea ainakin seuraavia asioita:

- takka-, avotuli tai polttolämmitys,
- rakennus- ja pintamateriaalipäästöt ja
- huonosti huollettu IV-järjestelmä.



***Kuva 1.** IV-koneen sisälle on huonon huollon seurauksen kertynyt pölyä ja likaa tulo- ja poistopuolen suodattimiin. Koneen oikeassa laidassa näkyy vesilammikko, joka on syntynyt kondenssi kosteudesta (Kuningastalot 2015).*

VOC-yhdisteet muodostavat tärkeimmän osan huoneilman sisältämistä kemiallisista yhdisteistä, joiden perusteella määritellään sisäilman laatua. Suomessa sisäilma-asioista puhuttaessa VOC-yhdisteillä tarkoitetaan sisäilmassa olevia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on 50–250 °C välillä. Asumisterveysohjeen (STM 2003:1) mukaan kodin tavanomaisena VOC-pitoisuutena pidetään 200–300 µg/m<sup>3</sup> (mikrogrammaa/kuutiometri) (Hengityслиitto 2014a). Oireilua voi esiintyä 200–3000 µg/m<sup>3</sup> pitoisuuksilla. Yli 3000 µg/m<sup>3</sup> pitoisuuksissa ihmisen olo tuntuu epämiellyttävälle (Puhakka et al. 1996).

Lähes kaikki pölyt heikentävät sisäilman laatua. Orgaaniset pölyt mahdollistavat mikrobikasvua, kuidut aiheuttavat ärsytystä ja hienojakoisin pöly kulkeutuu syvälle keuhkoihin aiheuttaen ongelmia (Valvira 2014d). Huonepölyllä tarkoitetaan sisätiloissa olevaa, leijuvaa ja laskeutuvan pölyn kokonaisuutta. Huonepöly koostuu suurimaltaosin orgaanisista aineista, kuten tekstiili- ja paperikuiduista, siitepölystä, mikrobeista ja hilseistä. Sisäilman pölyt ovat peräisin pääasiassa ihmisistä, eläimistä, ulkoilmasta, sieni- ja homekasvustoista, tekstiileistä, ääni- ja lämpöeristeistä, palamisreaktiosta, kuten talojen lämmittämisestä, tupakansavusta ja liikenteestä. Hiukkasten koko vaikuttaa merkittävästi niiden haitallisuuteen ihmiselle. Pienhiukkaset, joiden läpimitta on 0,5–5 µm kulkeutuvat suoraan keuhkorakkuloihin asti, eivätkä ne pääse keuhkoista pois. Alle 5 µm kokoisia hiukkasia ovat tupakansavu, valimopölyt, masuunipöly, osa bakteeriaerosoleista, kaikki virus aerosolit, asbesti- ja kvartsihiukkaset ja pakokaasujen nokihiukkaset.

PAH-yhdisteet ovat orgaanisia yhdisteitä, joita syntyy epätäydellisen palamisen tuloksena. Sisäilmaan PAH-yhdisteitä kulkeutuu pakokaasusta, savusta, noesta, tupakansavusta ja kivihiilitervasta. Myös grillatussa ja savustetussa ruuassa on PAH-yhdisteitä. Kivihiilitervassa olevat PAH-yhdisteet aiheuttavat sisäilmaongelmia, kun ne vapautuvat ilmaan esimerkiksi vanhoista kosteuseristeistä, joissa on käytetty kivihiilitervaa. PAH-yhdisteet ovat yleensä karsinogeenisia eli voivat aiheuttaa syöpää, mutta yhdisteiden karsinogeenisuudet vaihtelevat paljon. PAH-yhdisteet voivat reagoida muiden ilma-osaasteiden ja auringonvalon kanssa muodostaen vieläkin haitallisempia yhdisteitä. (Työterveyslaitos 2014a; Evira 2014)

Sisäilman laatuun vaikuttaa monet päästölähteet, mutta ihminen pystyy omalla toiminnallaan ehkäisemään ja vähentämään lähes kaikkien vaikutusta terveyteen. Rakennusten oikea-aikaisilla huolloilla voidaan ehkäistä suurin osa rakenteista ja talojärjestelmistä aiheutuvista päästöistä. Ihminen voi aina vaikuttaa omiin käyttötottumuksiin ja muokata niitä sisäilman kannalta vähä päästöisiksi. Siivouksella on suuri merkitys sisäilmanlaatuun. Säännöllisellä ja oikeaoppisella kiinteistön siivouksella saadaan pidettyä haitallisten aineiden pitoisuudet sisätiloissa pieninä, jolloin niistä ei synny käyttäjille merkittäviä haittoja.

## 3 KUNTOTUTKIMUSTEN YLEISET PERIAATTEET

### 3.1 Kuntotutkimusten tavoitteet

Kuntotutkimusten tavoitteena on selvittää rakenteita vaurioittavia turmeltumisilmiöitä. Kuntotutkimukset toimivat tietolähteenä rakennuksista esimerkiksi kiinteistön ylläpidolle (PTS = pitkän tähtäimen suunnitelma), kiinteistö kaupalle ja korjaussuunnittelulle. Kaikki rakennukset ovat yksilöitä ja vanhenevat, joten kuntotutkimukset ovat jossakin muodossa osana kaikkien rakennusten elinkaarta. Tutkimusten avulla voidaan arvioida onko rakennus missä kunnossa ja jos se ei ole hyväksyttävässä kunnossa, mitä asioita tarvitsee tehdä, jotta rakennus saataisiin takaisin haluttuun kuntoon. (Pentti 2012b)

Kuntoarvio ja kuntotutkimus sekoitetaan usein toisiinsa, mutta niillä on selkeä ero. Kuntoarvio on kevyempi aistinvaraisiin ja rakennetta rikkomattomiin havaintoihin perustuvat tutkimus. Kuntotutkimus on laaja eri tutkimusmenetelmien yhdistelmä, jossa avataan rakenteita ja otetaan tarvittaessa näytteitä analysoitaviksi. Kuntotutkimusten pohjana voi toimia kuntoarvio, jonka avulla on selvitetty tarve laajemmille tutkimuksille. (Pentti 2012b)

Kuntotutkimuksien suorittaminen vaatii laaja tuntemusta rakenteista, materiaaleista, rasiustekijöistä, rakennusfysiikasta, vauriomekanismeista, tutkimusmenetelmistä ja kykyä ratkaista havaittuja ongelmia. Koska tutkimukset kohdistuvat pääasiassa vanhempiin rakennuksiin täytyy tutkijalla olla käsitystä korjausrakentamisesta, rakennushistoriasta ja rakennesuunnittelusta. Kuntotutkijan osaamiskenttä on hyvin laaja, joten usein vaikeissa tutkimushankkeissa käytetään useita eri tutkimusalojen ammattilaisia, jotta tarvittava tietotaito löytyy ongelman ratkaisemiseksi. (Fränti 2014)

Usein luullaan, että kuntotutkimuksia kannattaa tehdä vasta kun ongelmia tai vaurioita havaitaan kohteessa. Todellisuudessa kuntotutkimuksia tulisi tehdä ennen kuin vauriot ovat silmillä nähtäviä. Näkyviä vaurioita on helppo havaita, mutta kuntotutkimusten todellinen haaste on havaita näkymättömiä vaurioita ja arvioida niiden etenemistä ajan kuluessa. Näkymättömät vauriot voivat edetä pitkälle hallitsemattomasti ennen kuin ne havaitaan, tällainen hallitsematon eteneminen aiheuttaa turvallisuus, terveys ja taloudellisen riskin. (Pentti 2012b)

Kuntotutkimuksien perustavoitteina on selvittää rakenteiden vaurioiden esiintymistä, laajuutta, astetta, syitä, vaikutuksia, ja etenemistä. Nämä tiedot antavat mahdollisuuden arvioida rakennuksen kokonaisuuden toimivuutta ja kuntoa, korjaustarvetta, sopivia korjaustapoja ja sopivia korjausajankohtia. Kun kuntotutkimukset on suoritettu, tulisi

tutkijan kyetä vastaamaan näihin määreisiin ja kysymyksiin tutkittavien rakenteiden osalta. (Pentti 2012b)

Kuntotutkimus voidaan suorittaa koko rakennuksesta tai vain rakennuksen tietyistä osista. Tutkimussuunnitelmia tehdessä tulee muistaa, että tutkittavien alueiden laajuus tulee olla tarpeeksi suuri, jotta voidaan riittävän luotettavasti vastata kuntotutkimuksen kysymyksiin. Mitä vähemmän tutkitaan, sitä alhaisempi hinta kuntotutkimuksille usein tulee. Oikein kohdistettuna rajauksilla säästetään rahaa, mutta liian suppealla tai väärillä rajauksilla voidaan hävitä enemmän rahaa kuin rajauksilla säästettiin aluksi. Tilaajalle syntyy kustannuksia kun ei saada tarpeeksi luotettavia tuloksia, joiden avulla voitaisiin tehdä oikeita korjauspäätöksiä. Mitä epävarmempaa tietoa vaurioista on, sitä enemmän varmuuskerrointa laitetaan korjaussuunnitteluun. Liiallinen varmuus korjaussuunnittelussa aiheuttaa turhia kustannuksia huomattavasti enemmän kuin tutkimusten laajuuden kasvattaminen olisi aiheuttanut. (Fränti 2014)

## 3.2 Sisäilman kuntotutkimukset

Sisäilman kuntotutkimukset kohdistuvat nimensä mukaisesti rakennuksien sisäilmas-  
toon vaikuttaviin tekijöihin. Kuntotutkimuksia voidaan tehdä rakenteista, esimerkiksi julkisivuista, mutta sisäilman kuntotutkimuksissa otetaan kantaa yleensä vain sisäilmaan vaikuttaviin rakenteisiin. Sisäilman kuntotutkimuksella pitää olla hyvä käsitys siitä, mitkä kaikki asiat voivat vaikuttaa sisäilman laatuun ja ihmisten mahdolliseen oireiluun tutkitavissa tiloissa. Käytännössä todella moni asia, vaurio ja niiden yhdistelmä vaikuttaa sisäilmaston laatuun, joten usein sisäilmakuntotutkimus on hyvin laaja tutkimuskokonaisuus rakennuksesta (Fränti 2014).

Sisäilman kuntotutkimuksissa on tärkeää saada hyvät lähtötiedot, jotta tutkimukset saadaan kohdistettua alussa mahdollisimman hyvin. Kaikissa kuntotutkimuksissa on tärkeää saada rakennekuvat lähtötietoina, jotta voidaan määrittää riskirakenteita, mutta sisäilman kuntotutkimuksissa on hyödyllistä saada tietoa myös käyttäjien mahdollisista oireiluista rakennuksissa. Kun tiedetään käyttäjien oireilusta, voidaan tehdä johtopäätöksiä niiden aiheuttajista, joka antaa vastaavasti alussa suuntaa tutkimusten kohdistamisessa. Tutkimusten edetessä ja tuloksia saataessa tutkimuksia kohdistetaan tarkemmin kunnes tarvittavat tiedot on saatu kerättyä (Koskinen 2014).

Sisäilman kuntotutkimukset poikkeavat pelkistä rakenteellisista kuntotutkimuksista usein myös käyttäjien ja tilaajien puolesta. Esimerkiksi julkisivututkimuksissa on usein kyse vain turvallisuudesta tulevaisuudessa ja rakenteiden kunnostuksien taloudellisesta järjestämisestä, mutta sisäilmatutkimuskohteissa on yleensä jo havaittu terveydentilan alenemista ja pahimmillaan voimakasta fyysistä oireilua. Kun kyse on ihmisten välittömästä hyvinvoinnista ja terveydestä, ovat sisäilmatutkimukset hankalia ja osittain arkoja käsittelyn aiheita tilaajille ja käyttäjille. Tämän seurauksena yleinen ilmapiiri saattaa kohteissa, kokouksissa, tiedotustilaisuuksissa ja muissa vastaavissa tilanteissa olla kireä, epätoivoinen, vihainen tai jopa ärtynyt (Fränti 2014).

Sisäilman kuntotutkimukset vastaavat samoihin tutkimuskysymyksiin kuin muutkin kuntotutkimukset, mutta kohteena on sisäilmasto. Sisäilman laatuun vaikuttavien rakenteiden ja materiaalien turmeltumisilmiöistä selvitetään esiintyminen, laajuus, aste, syyt, vaikutukset ja eteneminen tulevaisuudessa. Tutkimuksiin kuuluu myös alustavien korjaustoimenpiteiden antaminen.

### **3.3 Vuorovaikutus käyttäjien kanssa sisäilmakuntotutkimuksissa**

Sisäilmaongelmat ovat usein vaikeita asioita käsitellä käyttäjien keskuudessa. Huoli omasta ja läheisten turvallisuudesta korostaa sisäilmaongelmien tutkimisen tärkeyttä. Usein sisäilmatutkimukset kestävät viikoista useisiin kuukausiin ennen kuin tutkijat ovat saaneet toimitettua raportin havaituista ongelmista. Koska tutkimukset kestävät kauan, eikä tuloksia saada heti kaikista havainnoista, syntyy pitkiä epätietoisia odotusaikoja käyttäjille ja tilaajille. Jos käyttäjiä ei saada informoitua tutkimuksista, voi epätietoinen odotusaika synnyttää huhuja, joita on vaikea korjata jälkeenpäin. Epätietoisuus vaikuttaa helposti myös käyttäjien työtehoon ja työilmapiiriin (Hengitysliitto 2014f).

Sisäilmatutkimuksissa on tärkeää suunnitella tilaajan kanssa käyttäjien tiedottamisesta, tutkimustuloksista ja tutkimusten etenemisestä ennen varsinaisia loppuraportteja. Tulosten jakaminen käyttäjille riippuu tutkittavasta kohteesta, mutta esimerkiksi työpaikoilla tehtävistä tutkimuksista on hyvä laittaa yleiseen jakoon tutkimustulokset, mikäli ne ovat selkeitä, eikä niistä voida tehdä helposti vääriä johtopäätöksiä. Tulosten julkaisusta on hyvä järjestää esimerkiksi tiedotustilaisuus, jossa käydään kohta kohdalta tutkimusraportti läpi valitun kuulijakunnan kesken. Tiedotustilaisuudessa kerrotaan raportin lisäksi suullisesti tutkimustulokset ja annetaan kuulijoille mahdollisuus esittää kysymyksiä epäselvistä asioista. Tiedotustilaisuuksilla saadaan usein vähennettyä väärinymmärryksiä ja käyttäjät rauhoittuvat kun saavat esittää kysymyksiä, jotka heitä vaivaavat tai epäilyttävät. Tiedotustilaisuudet järjestää yleensä tilaaja ja paikalle on kutsuttu tutkimusprojektiin osallistuneet osapuolet. Tilaajan edustaja toimii yleensä tilaisuuden vetäjänä ja kertoo oman näkemyksensä sisäilmatutkimustuloksista ja niiden pohjalta mahdollisista jatko- tai korjaustoimenpiteistä. Sisäilmatutkijalla on yleensä oma puheenvuoro, jossa hän käy omasta puolestaan tutkimuksen läpi ja vastaa mahdollisiin kysymyksiin. (Fränti 2014)

Pitkäkestoisten tutkimusten edetessä on hyvä tiedottaa käyttäjiä tutkimusten etenemisestä säännöllisesti. Kun käyttäjät saavat esimerkiksi kerran viikossa tiedon suoritettavista toimenpiteistä ja alustavan tiedon, onko tiloissa edelleen turvallista tai mahdollista työskennellä, he usein rauhoittuvat. Säännöllinen tiedottaminen tulee kyseeseen yleensä vaikeissa kohteissa, joissa on haastava tai laaja käyttäjäkunta. Välitiedottamisesta vastaa tilaaja ja tutkijat avustavat tarvittaessa tiedotteiden teknisessä sisällössä. Pitkäkestoisissa sisäilmatutkimuksissa suurissa kohteissa tilaaja perustaa usein oman sisäilmatyöryhmän, joka koostuu esimerkiksi käyttäjien, tilaajan, kiinteistönhuollon, työterveyslaitoksen ja työlääkärin edustajista. Sisäilmatyöryhmän tehtävä on seurata

yleistä ilmapiiriä, tiedottaa tutkimuksista, seurata tutkimusten etenemistä ja vastata kysymyksiin (Sisäilmakeskus 2015).

Käyttäjien ja tutkijoiden vuorovaikutus riippuu kokonaan tutkittavan rakennuksen käytöstä ja käyttötarkoituksesta. Tiedottaminen on helppoa kohteissa, joissa ei ole paljon käyttäjiä, esimerkiksi varastorakennuskohteissa. Vaikeinta tiedottaminen on usein koulurakennuksissa, joissa henkilökunnan lisäksi käyttäjiä ovat myös oppilaat. Oppilaiden lisäksi heidän vanhempansa ovat myös huolissaan sisäilmaongelmista. Kouluissa käyttäjämäärät voivat olla tuhansia, joten tiedottaminen ja sen toteuttaminen ovat hyvin haastavia (Fränti 2014). Mitä enemmän ihmisiä on epätietoisessa tilassa, sitä helpommin alkaa syntyä huhuja, jotka voivat levitä nopeasti täysin perättöminä (Hengitysliitto 2014f).

Sisäilmatutkija on yleensä käyttäjien kanssa vuorovaikutuksessa suorittaessaan kenttätutkimuksia. Näistä käyttäjien kohtaamisista voidaan välillä saada hyvää tietoa suullisesti tilojen käytöstä tai havaituista ongelmista, joita ei välttämättä ole toimitettu lähtö- materiaaleissa. Käyttäjiä kuultaessa täytyy muistaa mahdollinen objektiivinen ajattelu ja se, että ihmiset reagoivat eri tavoilla sisäilmaongelmiin. On hyvä kuunnella, jos käyttäjät haluavat kertoa omista huolistaan, mutta tutkimustuloksista puhuttaessa tulee olla tarkkana ja noudattaa tilaajan kanssa tehtyä sopimusta. (Fränti 2014)



## 4 SISÄILMAONGELMAN AIHEUTTAJAT JA OIREET

Tässä luvussa käsitellään erilaisia rakennuksissa olevien epäpuhtauksien ja haitta-aineiden terveydellisiä vaikutuksia ihmisille. Kappaleet eivät sisällä kaikkea tietoa haitta-aineiden terveysvaikutuksista vaan yleisimmät oireet ja niiden vaikutukset, jotta kuntotutkijat pystyvät hahmottamaan eri aineiden terveysvaikutuksia tutkimuksissa. On hyvin todennäköistä, että useat aineet omaavat paljon muitakin merkittäviä haittavaikutuksia ja yhteisvaikutuksia muiden aineiden kanssa, mutta kaikkea ei ole vielä havaittu tai tutkittu. Tässä luvussa käydään läpi enemmän sisäilmaongelmien aiheuttamia oireita kuin terveyshaittoja. Terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisen altistumista haitallisille aineille tai olosuhteille, jotka voivat johtaa oireiden tai sairauden syntymiseen. Oireita on helpompi havaita ja niistä voidaan kerätä tietoa käyttäjiltä, mutta terveyshaittoja käyttäjä ei välttämättä pysty itse edes havaitsemaan. Vaikka rakennusten käyttäjät eivät oireilisikaan, tulee sisäilmatutkimuksissa huomioida myös terveyshaitat. (Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2015)

Tällä hetkellä sisäilman epäpuhtauksien terveysvaikutuksia tutkitaan kokoajan enemmän ja tieto saadaan lisää varsinkin erilaisten mikrobien toiminnasta. Haitta-aineiden vaikutukset ovat niin monipuolisia, ettei kaikkea ole voitu läheskään vielä tutkia tai havaita. Sisäilman kuntotutkijan on erittäin tärkeä seurata lääketieteen ja rakennusalan tutkimusjulkaisuja sisäilman terveysvaikutuksista, jotta uusin ja päivitetty tieto on käytössä sisäilmatutkimuksia tehdessä (Koskinen 2014).

Sisäilma ei ole koskaan täysin puhdasta, vaan hyvä sisäilman on aina absoluuttisen puhtaan ja pahasti saastuneen ilman välimaastossa. Hyvän sisäilman eri aineiden ja partikkelien pitoisuudet ovat sellaisella tasolla, etteivät ne aiheuta käyttäjille ongelmia tai terveyshaittoja. Ihmiset reagoivat eri aineiden pitoisuuksiin eri tavoilla ja herkkyydellä, joten on olemassa henkilöitä, jotka saavat oireita puhtaiksikin luokitelluissa rakennuksissa. Vastaavasti on henkilöitä, jotka eivät oireile ollenkaan ongelmallisissa kohteissa (Koskinen 2014). Sisäilmaa heikentävät aineet ja partikkelit tulevat erilaisista materiaaleista ja aineista, joista haihtuu kaasumaisia epäpuhtauksia tai materiaaleista, joista vapautuu haitallisia partikkeleita (Seuri & Palomäki 2000).

### 4.1 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteet eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt ovat epätäydellisen palamisen synnyttämiä kahden tai useamman yhteen fuusioituneen bentseenirenkaan yhdisteitä. PAH-yhdisteet ovat ihmiselle haitallisia. Useat PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisiä eli

aiheuttavat ihmiselle syöpää. PAH-yhdisteitä esiintyy esimerkiksi pakokaasuissa, savussa, tupakassa, noessa, kivihiilitervassa, tervassa, kivihiilipiessä, kreosoottiöljyssä, kivihiiliperäisissä öljyissä, dieselöljyssä, käytetyissä moottoriöljyissä, asfaltissa ja bitumissa. Rakenteiden vesieristeissä on ennen käytetty erilaisia kivihiilitervaan perustuvia tuotteita, öljypohjaisia bitumeja sekä näiden seoksia (Pentti 2012a). Kreosoottieristeet sisältävät huomattavasti enemmän PAH-yhdisteitä kuin bitumieristeet (Työterveyslaitos 2014a).

Osa PAH-yhdisteistä on voimakkaasti karsinogeenisia. Karsinogeenin uskotaan aiheuttavan ihmisillä syöpää. Tutkituin PAH-yhdiste on bentso(a)pyreeni, joka lisää keuhkosyövän riskiä hengitysilmassa. On mahdollista että PAH-yhdisteet reagoivat tyypen oksidien kanssa muodostaen nitro-PAH-yhdisteitä, jotka ovat erittäin karsinogeenisiä. Myös ilmakehä voi muuttaa PAH-yhdisteitä alkuperäisiä yhdisteitä haitallisemmiksi. (Työterveyslaitos 2014a; Evira 2014)

## 4.2 VOC-yhdisteet

VOC tarkoittaa haihtuvia orgaanisia aineita (Volatile Organic Compounds). Erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on sisäilmassa sadoittain ja ne jaetaan eri luokkiin haihtuvuuden mukaan (Seuri & Palomäki 2000). Haihtuvien orgaanisten aineiden luokat ovat alhaisimmasta haihtumislämmöstä alkaen VVOC (0–100 °C), VOC (50–260 °C), SVOC (260–400 °C) ja POM (>380 °C) (Puhakka & Kärkkäinen 1994). Sisäilmaongelmia tuottavat lähinnä huonelämpötiloissa haihtuvat yhdisteet eli VOC:it. Mikrobin on tutkittu tuottavan aineenvaihduntatuotteena haitallisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, nämä VOC:it on nimetty erikseen MVOC:iksi eli mikrobi-VOC (Ympäristö ja Terveyslehti 2009).

Yhtenä sisäilman VOC:ien lähteenä ovat ulkoilma ja sen epäpuhtaudet, kuten liikenteen päästöt. Sisäilmaan VOC:eja tulee myös erilaisista liuottimista, liima-aineista, rakennusmateriaaleista, pesuaineista ja joissain tapauksissa mikrobeista. Esimerkiksi uusissa rakennuksissa VOC-päästöt ovat aluksi korkeita, mutta ne laskevat jo yleensä puolen vuoden aikana normaalille tasolle (Hengitysliitto 2014a). Nykyään rakennusmateriaalien päästöjä on rajoitettu paljon ja myytävät rakennusmateriaalit on luokiteltu päästöjen mukaan. Päästöluokitukset ovat M1, M2 ja M3, joista M1 on vähäpäästöisin ja soveltuu käytettäväksi sisätiloissa (Rakennustieto 2014).

VOC-yhdisteillä on usein oma tunnusomainen hajunsa. Tutkija voi joskus kokemuksen perusteella havaita jo ilman erillistä selvitystä hajujen (VOC:ien) lähteitä (Fränti 2014). Tarkkana määritelmänä VOC:it eivät sisällä kaikkia sisäilman orgaanisia yhdisteitä, vaikka niin alalla yleensä VOC:illa tarkoitetaan. OCIA (organic chemicals in indoor air) kattaa virallisesti kaikki sisäilman orgaaniset kaasut ja päästöt. OCIA:sta ei vielä ainakaan yleisesti puhuta alalla (Malka & Sundström 2004).

Lähes kaikista rakennusmateriaaleista vapautuu haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, mutta virheettömien materiaalien VOC-päästöt pienenevät ajan mittaan, eivätkä aiheuta käyttäjille oireilua (Valvira 2011). Nyrkkisääntönä on, että puolet päästöistä aiheutuu

rakennusmateriaaleista ja toinen puoli aiheutuu mm. huonekaluista, tekstiileistä, puhdistusaineista, kosmetiikasta, ihmisistä ja kotieläimistä (Valvira 2011). Jos VOC-arvot ovat koholla voi se viitata myös kosteusvauriin rakennusmateriaaleissa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

VOC:ien aiheuttamia oireita ja terveyshaittoja on vaikea luokitella, koska sisäilmassa on satoja erilaisia VOC-aineita. VOC:ien tiedetään myös mahdollisesti muodostavan haitallisia yhdisteitä muiden aineiden kanssa. Suurilla VOC-päästöillä tiedetään olevan haitallisia vaikutuksia ihmisille. Jo yksittäinen VOC-aine voi olla ihmiselle haitallinen (Hengityслиitto 2014a). Yleisiä VOC:ien aiheuttamia oireita voivat olla limakalvojen ärsytysoireet ja päänsärky (Seuri & Palomäki 2000). VOC:ien aiheuttamat hajut asunnoissa laskevat myös asumisviihtyvyyttä (Hengityслиitto 2014a).

Aldehydit ovat orgaaninen yhdisteryhmä, joiden toiminnallinen ryhmä on karbonyyliryhmä (-CHO). Aldehydeistä haitallisim on metanaali eli formaldehydi. Formaldehydin hajukynnys on noin 35 µg/m<sup>3</sup>. Formaldehydi aiheuttaa ärsytysoireita noin 100 kertaa pienemmillä pitoisuuksilla kuin muuta aldehydit. Formaldehydin tunnetuin päästölähde on vanhat lastulevyt. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009; Sisäilmayhdistys 2014a)

Formaldehydit kuuluvat haitallisiin VOC-päästöihin. Formaldehydit imeytyvät helposti limakalvoihin, joten pääasialliset haitat ovat silmien ja ylähengitysteiden ärsytysoireet. Ilmenevät oireet voivat olla jatkuva yskä, nenän tukkoisuus, nuha tai silmien kirvely. Pitoisuuksien noustessa voi ilmetä myös päänsärkyä, pahoinvointia ja väsymystä. (Sisäilmayhdistys 2014a; Hengityслиitto 2014e)

Styreeni on väritön tai kellertävä, siirappimainen ja haihtuva neste, jonka haju on makeahko ja pistävä jo alhaisissa pitoisuuksissa. Styreenin hajukynnys on 75 µg/m<sup>3</sup>. Höyry on ilmaa raskaampaa, joten sitä kerääntyy matalimpiin kohtiin tiloissa (Työterveyslaitos 2014e). Styreeniä erittyy sisäilmaan yleensä rakennusmateriaaleista, kuten lattiapinnoitteista, kumimatoista ja kylmäkalusteista (Hengityслиitto 2014c). Lisäksi jos rakennusmateriaaleissa on käytetty polyesterihartsin eri komponentteja, eivätkä ne ole reagoineet täydellisesti keskenään, saattaa sisäilmassa esiintyä styreeniä (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

Styreeni on myös haitallinen VOC-yhdiste, mutta niitä esiintyy harvoin asuinrakennuksissa. Styreeniä esiintyy enemmän tehdasteollisuudessa. Lyhytaikaiset altistumiset styreenille aiheuttavat oireita seuraavien pitoisuuksien mukaan: (Työterveyslaitos 2014e)

- 200 ppm (860 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuudessa ilmenee lievää ylähengitysteiden limakalvojen ja silmien ärsytystä
- 400–600 ppm (1 700–2 600 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuudessa ilmenee päänsärkyä, ruokahaluttomuutta, huonovointisuutta, heikkoutta ja silmien kirvelyä.
- 2 500–5 000 ppm (11 000–22 000 mg/m<sup>3</sup>) ovat erittäin suuria pitoisuuksia ja aiheuttavat silmien ärsytystä ja syvän huumautilan. Yli 5 000 ppm:n (22 000 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuus johtaa kuolemaan hengityskeskuksen lamaannuttua.

Pitempiaikainen altistuminen eli yli 20 minuuttia, aiheuttaa oireita seuraavien pitoisuuksien mukaan: (Työterveyslaitos 2014e)

- 100 ppm:n (430 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuus voi aiheuttaa silmien lievää ärsytystä.
- 400 ppm:n (1 700 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuus noin tunnin ajan voi aiheuttaa keskushermoston toiminnan häiriöitä, kuten väsymystä, keskittymisvaikeuksia ja reaktioaikojen pitenemistä.
- 1 300 ppm (5 600 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuus aiheuttaa voimakasta silmien kirvelyä ja kyynelvuotoa. Suuret höyrypitoisuudet ilmassa ärsyttävät myös ihoa.

### 4.3 Radon

Radon (<sup>222</sup>Rn) on uraanin hajoamistuote ja se on radioaktiivista kaasua (STUK 2014a). Sen ydin on epävakaassa tilassa ja se pyrkii kohti stabiilimpaa tilaa, joka tapahtuu hajoamisen kautta polonium isotoopiksi (<sup>210</sup>Po). Hajoamisessa radon lähettää voimakkaasti ionisoivaa alfasäteilyä, joka etenee ympäristössä hiukkassäteilynä. Radioaktiivinen säteily on tunnetusti haitallista ihmisille (Valvira 2014a). Radonia löytyy kallio- ja maaperästä. Radonia tavataan koko Suomen alueella, mutta suurimmat pitoisuudet löytyvät Etelä-Suomen harjuilta ja Pirkanmaalta (STUK 2015). Radon esiintyy kaasumaisessa muodossa ja se kuuluu alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä jalokaasuihin, eikä se muodosta muiden aineiden kanssa yhdisteitä. Koska radon on kaasumaisessa muodossa, se pääsee liikkumaan hyvin huokoisessa maa-aineksessa ja kallioiden halkeamissa, joista osa radonista pääsee kulkeutumaan lopulta rakennusten sisäilmaan ja hengityksen kautta ihmisen elimistöön (STUK 2014a).

Radonia kulkeutuu sisäilmaan useita reittejä pitkin (STUK 2014a). Suurin radonin lähde on maaperä rakennuksen alapuolella ja ympärillä. Vaikka rakennusalueen maapohja ei sisältäisikään radonia, saattaa sitä olla rakennuksen täyttömaissa, jotka on tuotu radonpitoiselta alueelta (STUK 2014a). Radon alttius ei käytännössä vähene esimerkiksi täyttömaissa, sillä radonin lähtöaineen uraanin puoliutumisaika on 4,5 miljardia vuotta (Komulainen 2013). Koska itse kalliossa on radonia, talon rakentaminen kalliolle saattaa lisätä riskiä suurille radon pitoisuuksille. Suurimmat riskialueet rakentaa radonin kannalta ovat harjualueet ja rikkonaiset kalliot, joissa radon pääsee helposti kulkemaan lohkeaminen, railojen ja hiekkaisen maan väleissä (Valvira 2014a). Maapohjasta radonin yleisimmät reitit ovat alapohjalaatan ja kantavien väliseinien liitoskohdat, kantavat väliseinät, jotka läpäisevät alapohjarakenteet, maanvastaiset harkkorakenteiset tiivistämättömät seinät, lattialaattojen halkeamat, kellarien maalattiat, lattialaattojen läpiviennit (sähkö, vesijohdot) sekä takkojen ja lattioiden saumat (Koskinen 2014). Muita radonin lähteitä sisätiloihin ovat talousvesi ja rakennusmateriaalit (STUK 2014a). Koska radonia on maapohjassa, pääsee sitä sekoittumaan pohjaveteen ja sitä kautta talousveteen. Talousvedestä radon pääsee sisäilmaan esimerkiksi suihkun käytöstä, pyykin ja astioiden pesusta ja muista talousveden käytöstä (STUK 2014a). Rakennusmateriaaleissa sitä esiintyy esimerkiksi kivisissä tuotteissa ja betoneissa, joissa on runkoaineena käytetty radonpitoista maa-ainesta. Täten radonia voi olla pieninä pitoisuuksina maanvastaisissa

betonilaatoissa, betonielementeissä, kivilaatoissa, tiilissä ja jossain tapauksissa myös kipsilevyissä. Rakennusmateriaalien radon pitoisuudet ovat pääasiassa hyvin pieniä (Siren 2014).

Radonin alfasäteily on pienen varauksensa takia huonosti läpäisevää säteilyä, joten siitä ei ole ihmiselle suurta haittaa ulkopuolisesti, mutta elimistön sisälle päästyään se aiheuttaa ongelmia soluissa ionisoivan energian vuoksi. Hiukkassäteilyn osuessa soluun se aiheuttaa solussa voimakasta ionisoitumista ja sitä kautta mahdollisesti DNA:n vaurioitumista eli mutaatioita. Pahimmassa tapauksessa vaurioituneen solun kasvunsäätelyjärjestelmä vaurioituu ja se voi saada kasvuedun normaalisoluihin verrattuna. Riski on suurempi silloin, kun vaurio osuu ns. syöpägeneihin. Syöpäkasvaimen syntyyn tarvitaan kuitenkin useita mutaatioita (Syöpäinfo.fi. 2015). Radon on hajutonta ja näkymättöntä kaasua, joten sitä ei voida havainnoida muuten kuin mittaamalla. Tutkimusten mukaan radon voi lisätä keuhkosyövän riskiä 8–16 % 100 Bq/m<sup>3</sup> pitoisuuksissa laskentatavasta riippuen (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

#### 4.4 Otsoni

Otsoni kuuluu luonnostaan ilmakehän kaasukoostumukseen. 90 %:tia maailman otsonista sijaitsee yli 20 km korkeudella ilmankehän otsonikerroksessa, mutta otsonia esiintyy kasvavissa määrin alemmissakin ilmakerroksissa. Otsoni on hapen kolmiatominen muoto, joka on hyvin herkkä reagoimaan muiden aineiden kanssa. Otsoni on voimakkaasti hapettavaa, joten sitä käytetään usein erilaissa pudistusprosesseissa teollisesti. (Ilmatieteen laitos 2014b)

Ilmakehän otsoni syntyy uv-valon vaikutuksesta, mutta sisäilman otsonit ovat yleensä peräisin sähköisistä laitteista, kuten lasertulostimista, kopiokoneista ja sähköisistä ilmanpuhdistimista (Työterveyslaitos 2014b). Otsonille voidaan altistua myös puhdistusprosessien yhteydessä, jos ilmanvaihdesta ei ole huolehdittu. Usein esimerkiksi uimahalleissa käytetään veden pudistamiseen paljon otsonia. Otsonin tunnistaa puhtaasta pistävästä hajusta, joka on havaittavissa joskus ulkona voimakkaan ukkosen jälkeen. Otsoni on vaarallista ihmiselle, koska se reagoi kaikkien aineiden kanssa hapettavasti. Elimistöön otsoni pääsee hengityksen kautta (Ilmatieteen laitos 2014b). Otsoni reagoi sisäilmassa myös esimerkiksi tyydyttymättömien orgaanisten yhdisteiden kanssa, muodostaen mahdollisesti vieläkin haitallisempia yhdisteitä (Työterveyslaitos 2014b).

Otsonin vaikutus ihmiseen on riippuvainen altistuksen suuruudesta, voimakkuudesta, ihmisen fyysisestä rasituksesta ja terveydentilasta. Otsonin oireita on usein vaikea erotella, sillä ihminen altistuu usein myös muille ilman epäpuhtauksille samaan aikaan. Yleensä otsonin aiheuttamat lyhytaikaiset oireet häviävät nopeasti. (Ilmatieteen laitos 2014b)

Otsoni aiheuttaa ihmisille haittaa, koska se reagoi helposti lähes kaikkien aineiden kanssa. Otsoni hapettaa entsyymejä, proteiineja ja rasvahappoja. Mitä rankempi on altistuvan henkilön raskaus, sitä enemmän otsoni aiheuttaa haittaa, koska hengästyneenä ilmanmäärät keuhkojen läpi ovat moninkertaiset. (Ilmatieteen laitos 2014b)

160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuudet voivat aiheuttaa muutoksia keuhkojen toiminnassa ja tulehdustyyppisiä reaktioita keuhkokudoksissa. 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksissa esiintyy silmien vuotamista, hengitysteiden ärsytystä, päänsärkyä, hengitysvaikeuksia, väsymystä ja huonovointisuutta. 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksissa on havaittavissa fyysisen suorituskyvyn heikkenemistä, astmakohtauksien lisääntymistä ja keuhkokudosten ikääntymisen nopeutumista. Otsoni voi lisäksi tehostaa karsinogeenien vaikutusta, joka lisää syöpäriskiä. Pitkäaikaiset altistumiset synnyttävät pysyviä vaurioita keuhkokudoksiin. (Ilmatieteen laitos 2014b)

## 4.5 Hiilidioksidi $\text{CO}_2$

Hiilidioksidiä esiintyy luonnostaan ilmassa. Ihminen muuttaa hengittäessään ilman happea hiilidioksidiksi. Ihminen onkin merkittävin sisäilman hiilidioksidin lähde asuintiloissa (Sisäilmayhdistys 2014a). Koska normaalitilanteissa hiilidioksidiä ei juuri muista asioista synny sisäilmaan, voidaan hiilidioksidin määrää sisäilmassa pitää ilmanvaihdon tehokkuuden mittarina. Hiilidioksidiarvot nousevat tiloissa, joissa on paljon ihmisiä tai niissä oleillaan pitkiä aikoja, kuten makuuhuoneissa yöllä tai opetustiloissa opetuksen ollessa käynnissä (Valvira 2014b). Hiilidioksidipitoisuudet vaihtelevat paljon riippuen tilan käytöstä. Kun tilan käyttö muuttuu, esimerkiksi opetustilasta poistutaan, hiilidioksidipitoisuudet alkavat laskea ilmanvaihdon tehokkuudesta riippuen. Hiilidioksidiä mitataan yksikössä ppm (parts per million) tai  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Kohonneet hiilidioksidipitoisuudet viittaavat usein heikkoon ilmanvaihtoon. Ulkoilman hiilidioksidi pitoisuus on noin 350 ppm ja sisätiloissa ihmiset tuottavat uloshengityksessä sisäilmaan hiilidioksidiä. Asumisterveysohjeen mukaan 1200 ppm on sisätiloissa tyydyttävä taso. Terveystensuojelulain mukaan hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä 1500 ppm:n tason ilmanvaihto ei ole terveystensuojelulain edellyttämällä tasolla. Yleisiä merkkejä kohonneesta hiilidioksidipitoisuuksista ovat väsymys, tunkkainen tunne, keskittymiskyvyn heikkeneminen, haukottelu, poskien punoitus ja päänsärky. (Seuri & Palomäki 2000)

## 4.6 Hiilimonoksidi CO (Häkä)

Hiilimonoksidi eli häkä on epäpuhtaan palamisen sivutuote. Ulkoilman häkäpitoisuudet ovat pääosin peräisin henkilöautoilusta ja sisätiloissa valtaosa häästä on peräisin tulisijoista (Hengitysliitto 2014b). Ulkoilmassa häkäpitoisuudet ovat laskeneet autojen moottorien kehittyessä ja autoihin varustettujen katalyysaattorien ansiosta. Ulkoilmassa häkäpitoisuudet laimenevat nopeasti ilman vaihtuessa, mutta suurissa ruuhkissa saattaa pitoisuudet nousta väliaikaisesti korkealle. Sisätiloissa tulisijojen väärin polttaminen tai huolimattomuus saattaa nostaa sisäilman häkäpitoisuudet vaaralliselle tasolle. Tulisijojen heikko korvausilma aiheuttaa esimerkiksi epätäydellistä palamista ja sitä kautta häkää tiloihin (Rakentaja.fi 2014).

Häkä sitoutuu ihmisen hemoglobiiniin ja estää hapen kulkeutumista veressä, tästä johtuen se aiheuttaa pieninä pitoisuuksina hapen puutteen oireita ja suurina pitoisuuksina kuoleman (Hengitysliitto 2014b; Valvira 2014b). Häkä on näkymätön, hajuton ja mauton kaasu, joten sitä ei voida havainnoida muuten kuin mittaamalla (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

## 4.7 Ammoniakki

Ammoniakki on kemiallinen kaasu, jota voi vapautua osasta rakennusmateriaaleja (Valvira 2014b). Yleensä ammoniakkia esiintyy vanhoissa tasoteissa, joissa on käytetty huonosti kosteutta kestäviä kaseiinia ja gelatiinia. Kostuessaan nämä raaka-aineet pilaantuvat vapauttaen ammoniakkia, aldehydejä, amiineja ja rikkiyhdisteitä (Hengitysliitto 2014d). Ammoniakkia voi vapautua muistakin valkuaista tai proteiinia sisältävistä rakennusmateriaaleista, kun ne saavat kosteutta (Hiltunen 2000). Ammoniakki saattaa haista rakennuksessa pistävälle, mädälle tai hieman virtsaiselle. Ammoniakkia voidaan epäillä olevan tiloissa jos niissä havaitaan pistävää hajua ja pintamateriaalien tummumista (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

Ympäristökeskus on vuonna 2000 julkaissut Kaisa Hiltusen teoksen ”Sisäilman ammoniakki suomalaisissa asunnoissa”. Julkaisussa tutkitaan tilastollisin menetelmin ammoniakkipitoisuuksien vaihtelua suomalaisissa asunnoissa ja selvitetään millaisissa asunnoissa ammoniakkia esiintyy todennäköisimmin. Tutkimuksessa on käytetty 2452 eri ammoniakkimittausta. Tutkimuksessa selvitettiin myös tupakoinnin, kotieläinten ja sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaikutusta ammoniakkipitoisuuksiin. Tutkimuksen näytteistä 66 % oli kerros- ja pienkerrostaloja, 21 % rivitaloja, 5 % paritaloja ja 8 % omakotitaloja. Yli puolet tutkittavista rakennuksissa oli valmistunut 1990-1999. Tutkimuksessa havaittiin, että asunnoissa, joissa oli muovimatto, ammoniakkipitoisuudet olivat merkittävästi suuremmat kuin rakennuksissa, joissa oli parketti. Havainnoissa pitää huomioida, että suurin määrä näytteitä ja niiden ammoniakkipitoisuuksista oli kerrostaloista ja rivitaloista, joissa on käytetty enemmän betonia kuin pari- ja omakotitaloissa. Sisäilman kosteudella todettiin olevan vaikutusta ammoniakkipitoisuuksiin ja tutkimuksen yhtenä johtopäätöksenä oli rakennusvaiheen kuivumisaikojen pidentäminen suomalaisessa rakentamisessa. Tutkimuksessa selviää myös, että ilmanvaihdon, seinien materiaalilla ja pinnoitteella ja katon materiaalilla on merkitystä ammoniakkipitoisuuksiin. Tilastollisesti suurin ammoniakki pitoisuus löytyy betoni kerrostaloasunnosta -90-luvulta seuraavalla yhdistelmällä: koneellinen poistoilmanvaihto, seinä- ja kattomateriaali betonia, lattialla muovimatto, seinä pinnoitteena maali, katon pinnoitteena maalamaton tasoite, asunnossa tupakoidaan ja pidetään lemmikkieläintä. Tupakoinnilla todettiin olevan puolitoistakertainen vaikutus asunnon ammoniakkipitoisuuteen. Kotieläimillä todettiin olevan kaksi ja puolikertainen vaikutus asunnon ammoniakkipitoisuuteen.

Ammoniakki aiheuttaa ärsytysoireita hengitysteissä ja limakalvoilla (Hengitysliitto 2014d). Voimakkaat altistumiset voivat ärsyttää silmiä. Yleensä rakennuksissa esiintyvät pitoisuudet aiheuttavat vain hengitysteiden oireita (Työterveyslaitos 2014f).

## 4.8 Mikrobit

Kun rakennuksien yhteydessä puhutaan mikrobeista, tarkoitetaan homesieniä, hii-vasieniä ja bakteereita. Bakteerit ovat yksisoluisia pieneliöitä, jotka ovat alkeistumallisia ja kooltaan vain 0,5–1 µm leveitä ja 1–2 µm pitkiä. Bakteerit lisääntyvät jakautumalla (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Mikrobeita esiintyy kaikkialla luontokunnossa, ulkona ja rakennusten sisällä. Mikrobivaurioista tai ongelmista puhuttaessa tarkoitetaan sellaisia mikrobeita, jotka ovat ihmiselle haitallisia, eikä niitä kuuluisi esiintyä terveen rakennuksen sisäilmassa tai rakenteissa (Fränti 2014).

Mikrobit tarvitsevat elääkseen lämpöä, ravintoa ja kosteutta. Yleensä sisätiloissa ja rakenteissa lämmön ja ravinnon saanti ei ole mikrobeille ongelma, mutta kosteuden saanti on. Kun kosteutta on tarpeeksi rakenteissa, mikrobit alkavat lähes välittömästi lisääntymään. Homekasvua voi tapahtua jo 24–48 tunnin sisällä kun kaikki olosuhteet mikrobiin kasvamiselle täyttyvät (Vinha 2011).

Käytännössä mikrobikasvun rajoittava tekijä on kosteus, tämän takia mikrobitutkimuksien yhteydessä on oleellista suorittaa rakenteiden kosteusmittauksia. Tarkemmat tiedot kosteusmittauksista on luvussa 5.5 kosteusmittaukset. Lähes aina, kun rakennuksessa on ilmennyt kosteusvaurio, on rakenteessa myös jonkin tasoinen mikrobivaurio tiedossa, jollei kyseessä ole hyvin äkillinen kostuminen, joka on saatu välittömästi kuivattua. Kun kosteus kuivuu, mikrobit menevät lepotilaan. Mikrobien ollessa lepotilassa osa niistä voi haihduttaa ihmisille haitallisia päästöjä, joten pelkkä kuivaaminen ei välttämättä riitä poistamaan mikrobiongelmaa rakennuksessa (Putus 2014). Lepotilasta mikrobit jatkavat nopeasti kasvua, kun kosteutta tulee uudelleen. Rakennusfysikaalisesti huonosti toimivat rakenteet voivat esimerkiksi syksyllä kerätä kosteutta ja talvella osin kuivua. Jos rakenne ei ehdi kokoaan kuivua kosteutta kertyy vuosittain kokoajan enemmän, ja kun kosteus saavuttaa mikrobeille otollisen tason alkavat mikrobit kasvamaan (Vinha 2011). Mikrobeita on useita tuhansia erilaisia ja niiden ympäristö ja kasvuvaatimukset poikkeavat toisistaan. Osalle mikrobeista riittää 75 RH% ja toiset vaativat yli 90 RH% olosuhteet (Vinha 2011). Kun tunnetaan eri mikrobilajien kasvuvaatimukset ja ominaisuudet voidaan tehdä johtopäätöksiä tutkittavasta rakennuksesta löytyneistä mikrobeista (Putus 2014).

Mikrobit ja niiden tuottamat aineet voivat aiheuttaa ihmisille useita oireita, joita ovat esimerkiksi silmien, ihon ja hengitysteiden limakalvojen ärsytysoireet, tällaisia oireita ovat nuha, nenän tukkoisuus, yskä, äänenkäheys, liman nousu keuhkoista, nenä verenvuodot, hengitysahdistukset ja hengitysvaikeudet. Mikrobien aiheuttamat oireet saattavat olla myös kuumeilua, päänsärkyä, väsymystä, pahoinvointia ja toistuvia infektioita, kuten pitkäkestoiset flunssat, keuhkoputken-, poskiontelon- ja korvantulehdukset (Sisäilmayhdistys 2015). Pitkäaikaiset altistumiset haitallisille mikrobeille ja niiden ai-



neenvaihduntatuotteille saattavat pahimmassa tapauksessa laukaista pitkäaikaissairauksia, kuten kroonisen keuhkoputkentulehdukset, allergista nuhaa, astmaa, ihottumaa tai alveoliittiä. Ongelmana on, että osaa näistä samoista oireista, varsinkin yleisoireilu saat-  
taa johtua muusta kuin mikrobeista. Pelkästi huonoksi koetulla sisäilmalla on osin sa-  
moja oireita mikrobioireilujen kanssa. Tilannetta tekee usein vaikeammaksi vielä se,  
että ihmiset usein mieltävät sisäilmaongelmat aina mikrobien aiheuttamiksi, jolloin ale-  
taan helposti seurata vain mikrobeille tyypillistä omaa oireilua (Fränti 2014).

## 4.9 Asbesti

Asbesti on kuitumainen silikaattimineraali, joka on hyvin kestävä ja jolla on erittäin  
hyvät ominaisuudet rakennusmateriaaliksi (Työnsuojeluhallinto 2014). Asbestin haitta-  
puolina ovat sen erittäin pienet ja terävät kuidut. Pienimmät kuidut pääsevät tunkeutu-  
maan syvälle ihmisen keuhkoihin, joissa ne aiheuttavat ärsytystä immuunijärjestelmään  
ja sitä kautta haitallista sidekudoksen kasvua. Asbestin aiheuttamat toiminnot elimistös-  
sä on tutkittu aiheuttavan pahimmillaan syöpää (Vikström 1993).

Asbestia käytettiin rakennusmateriaaleissa yleisesti 1960- ja 1970-luvuilla, mutta  
nykyään se on Suomessa kokonaan kielletty (Työnsuojeluhallinto 2014). Mikäli tuote  
sisältää yli 1 % painostaan asbestia, pidetään sitä asbestipitoisena. Jos tuote sisältää alle  
1 % asbestia, mutta on pölyävää katsotaan se olevan vaarallista (Vikström 1993).

Asbestia voi olla melkein missä vain rakennusmateriaalissa, koska se on erittäin so-  
veltuva vahvikeaine lähes kaikelle. Asbestista ei ole ongelmaa rakennusmateriaaleissa,  
jotka ovat ehjiä, eikä niistä vapaudu hiukkasia mekaanisen rasituksen takia. Kun asbes-  
tia sisältävää materiaalia aletaan purkaa tai muokata, työssä vapautuu asbestia ilmaan ja  
tämä aiheuttaa terveyshaitan. (Vikström 1993)

Asbesti on erittäin hienojakoinen kuitu ja se voi tunkeutua syvälle keuhkoihin ja ai-  
heuttaa asbestoosina tunnetun keuhkosairauden. Altistuminen asbestille katsotaan nos-  
tavan merkittävästi keuhkosityövän riskiä, samoin kuin tupakanpolton. (Vikström 1993)

## 4.10 Mineraalivillat ja pölyt

Hiukkaset jaetaan kokonsa mukaan eri luokkiin. Hengitettäviä hiukkasia ovat  $PM_{10}$  eli  
alle 10  $\mu m$  ja pienhiukkaset ovat  $PM_{2.5}$ , jotka ovat halkaisijaltaan alle 2,5  $\mu m$ . Hiukkas-  
ten koko vaikuttaa niiden kulkeutumiseen elimistössä (Ympäristö ja Terveys-lehti  
2009). Mitä pienempiä hiukkaset ovat sitä syvemmälle keuhkoihin ne pääsevät ja aihe-  
uttavat enemmän oireita elimistössä. Syvimmälle keuhkoihin päässeet hiukkaset eivät  
pääse enää poistumaan elimistöstä vaan kertyvät elimistöön (Raimo, O. & Pennanen, A.  
2006). Hiukkasten kokonaisleijumasta sisäilmassa käytetään nimeä TSP.

Kokonaisleijuman lähteitä sisäilmassa ovat ulkoilman hiukkaset ja ihmisten oma  
toiminta. Ulkoilman hiukkasia ovat esimerkiksi pakokaasut, luonnon pöly, siitepöly ja  
katupöly (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Ihmisten aiheuttamat pölyt koostuvat pää-

osin orgaanisista aineista, kuten tekstiili- ja paperikuiduista, mikrobeista ja hilseistä (Malka & Sundström 2004).

Pölyn käyttäytymiseen vaikuttaa eniten niiden koko. Suuret hiukkaset laskeutuvat nopeammin tasolle, kun vastaavasti hienoimmat pölyt leijuvat käytännössä aina ilmassa eivätkä laskeudu lainkaan. Siivoamisella on suuri vaikutus sisäilman laatuun ja hiukkasten pitoisuuteen tiloissa. Erityisesti laskeutuvalla orgaanisella pölyllä ja kuiduilla on terveydellisiä vaikutuksia. Ärsytysoireita voi aiheutua pölyn suorasta ihokosketuksesta tai hetkellisesti kohonneiden hiukkaspitoisuuksien kuormittaessa hengitysteiden limakalvoja ja silmiä. Pienhiukkaset oletetaan olevan kuitenkin terveydelle haitallisimpia, koska ne kulkeutuvat syvälle keuhkoihin. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Mineraalivillat ovat kuiturakenteisia. Kuitujen paksuus on noin 3-6 µm, joten vain pieni osa kuiduista voi päästä keuhkoihin asti. Kuidut aiheuttavat ärsytystä silmissä, iholla ja hengitysteissä, lisäksi ne saattavat altistaa ylähengitysteiden tulehduksille. Kuitujen poistuminen elimistöstä kestää muutamista viikoista kuukausiin, mutta niiden ei ole todettu aiheuttavan pitkäaikaisia terveysvaikutuksia. Suomessa myytävät kuituvilla-tuotteet eivät ole luokiteltu syöpävaarallisiksi. (Työterveyslaitos 2014d; Seuri & Palomäki 2000)

#### **4.11 Ilman RH%**

Liian kuivassa sisäilmassa ihmiset kokevat silmien, ihon ja limakalvojen kuivumista. Kuiva ilma heikentää hengitysteiden toimintaa ja liman poistumista hengitysteistä. Kuiva sisäilman lisää myös staattisen sähkön muodostumista. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

#### **4.12 Pilaantuneet maa-aineet**

Pilaantuneet maa-aineet ovat maaperää, joka on ihmisen toiminnan seurauksena pilaantunut terveydelle tai ympäristölle vahingollisilla aineilla, kuten kemikaaleilla tai öljyllä (Ympäristö.fi 2014). Pilaantuneita maa-aineita ei yleensä yhdistetä aluksi sisäilmaongelmiin, mutta ne ovat hyvin mahdollisia ongelmien aiheuttajia, varsinkin vanhoilla teollisuusalueilla tai -rakennuksissa (Ympäristö.fi 2014). Maaperä voi pilaantua hyvin pieniltä pistemäisiltä tai laajoilta alueilta. Pilaantuminen on voinut tapahtua onnettomuuden yhteydessä tai pitempiaikaisen toiminnan seurauksena (Ympäristö.fi 2014).

Jos noudetaan rakentamismääräyksiä ja rakennettava maaperä tutkitaan ennen rakentamista, uusissa rakennuksissa ei pitäisi esiintyä sisäilmaongelmia pilaantuneiden maa-ainesten takia, jollei ympäristöstä leviä rakennuksen ympärille haitta-aineita, kuten öljyä. Todennäköisimmän sisäilmaongelman pilaantuneet maa-aineet aiheuttavat vanhoissa teollisuusrakennuksissa, jotka on otettu myöhemmin asuinkäyttöön. Teollisuusrakennusten ollessa raskaan teollisuuden käytössä on rakennuksen lattioille ja pihan

ympäristöön voinut päästä haitta-aineita, jotka ovat pikkuhiljaa kertyneet maaperään ja rakenteisiin.

Pilaantuneet maa-aineet aiheuttavat oireilua niiden sisältävien aineiden mukaan. Yleensä pilaantuneissa maa-aineissa on paljon VOC- tai PAH-yhdisteitä.

#### 4.13 Muut tekijät

Merkittävimmät tunnetut yksittäiset sisäilmaongelman aiheuttajat on esitelty aikaisemmin, mutta sisäilmaston kokemista huonoksi saattaa aiheuttaa myös suuret paine-erot, väärät lämpötilat, heikko ilmanvaihto, kotieläimet ja pieneliöt. Nämä tekijät saattavat myös välillisesti vaikuttaa heikkoon sisäilman laatuun. (Fränti 2014)

Ihminen ei normaalisti pysty aistimaan rakennuksissa olevien paine-erojen muutoksia. Normaalit paineolot eivät aiheuta ihmisille tuntemuksia. On kuitenkin mahdollista, että väärin toimivassa rakennuksessa esiintyy poikkeuksellisen suuria paine-eroja ulkoilmaan verrattuna. Poikkeuksellisen suuret paine-erot ovat luokkaa yli 50 Pa:lia. Yli 50 Pa:lin paine-eroa voivat herkimmät ihmiset jo havaita. Vääränlaiset paineolosuhteet vaikuttavat merkittävästi rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen ja sitä kautta sisäilman laatuun (Vinha 2011).

Ihminen aistii lämpötilan muutokset herkästi epämukavana tekijänä. Lämpötila on sisäilmaston yksi merkittävimmistä mukavuus tekijöistä. Välillisesti liian kuumasta tai kylmästä sisäilmasta voi aiheutua sisäilmaongelmia. Liian kylmä ilma voi aiheuttaa sisäilman kosteuden kondensoitumisen rakenteisiin, kun taas liian kuuma ilma lisää orgaanisten epäpuhtauksien kasvua tiloissa. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Ilmanvaihto vaikuttaa suoraan eri aineiden pitoisuuksiin sisäilmassa. Hyvä ilmanvaihto pitää ärsyttävien aineiden pitoisuudet kurissa ja vastaavasti toimimaton ilmanvaihto kerryttää epäpuhtauksien määrää sisäilmassa tai pahimmillaan imee rakenteista epäpuhtauksia ilmaan. Hyvällä ilmanvaihdolla voidaan pelastaa pienempiä ongelmia ja huonolla ilmanvaihdolla saadaan ongelmia terveisiinkin rakennuksiin. (Holopainen et al. 2012)

Pieneliöt ovat nykyaikaisissa rakennuksissa hyvin pienessä roolissa sisäilmaongelmissa, mutta edelleen sisätiloissa tavataan esimerkiksi muurahaisia. Ongelmia hyönteiset aiheuttavat esimerkiksi tuhoamalla rakenteita ja kuljettamalla epäpuhtauksia (Fränti 2014).

Kotieläimet tuottavat ja kuljettavat epäpuhtauksia asunnoissa. Voi olla tilanteita, että niiden aiheuttamat epäpuhtaudet yhdistettynä muihin haitta-ainesiin aiheuttaa joillekin oireilua. Kotieläimet nostavat esimerkiksi merkittävästi ammoniakkin määrää asunnoissa verrattuna asuntoihin, joissa ei ole kotieläimiä (Hiltunen 2000).

## 5 SISÄILMATUTKIMUSMENETELMÄT JA OHJEET

Sisäilman tutkimisen hyväksyttyinä ja vertailukelpoisina tutkimusmenetelminä käytetään asumisterveysoppaan ohjeistamia tutkimusmenetelmiä. Todellisuudessa on olemassa paljon enemmän erilaisia tutkimusmenetelmiä, mitä asumisterveysohje sisältää. Maailmalla käytetään lisäksi tutkimusmenetelmiä mitä Suomessa ei käytetä. (Fränti 2014)

Suomessa usein riitä ja oikeustilanteissa joudutaan käyttämään vain asumisterveysohjeen tutkimusmenetelmiä, vaikka toisenlaiset tutkimusmenetelmät voisivat antaa jopa tarkoituksenmukaisempia tuloksia (Säteri & Backman 2014). Perusteluina vain asumisterveysohjeen tutkimusmenetelmien käyttöön on tulosten vertailukelpoisuus ja tunnetut tutkimusmenetelmät.

Maailmalla ja Suomessakin kehitetään kokoajan uusia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla saadaan tarkempaa tietoa sisäilmaongelmista. Kuntotutkimuksia tehdessä on tärkeitä ymmärtää, mitä ollaan tutkimassa ja millä menetelmällä. Tutkijat voivat käyttää kaikkia mahdollisia tutkimusmenetelmiä, kuhan niiden käytöstä on sovittu tilaajan kanssa. Välillä voi olla kannattavaa kokeilla uusia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla voidaan saada sellaista tietoa, mitä ei toisilla tutkimusmenetelmillä välttämättä saada (Fränti 2014). Sisäilmatutkijan tulisi aina miettiä, mitä uusiakin tutkimusmenetelmiä pystyttäisiin käyttämään, jottei tutkimusten kehittyminen pysähtyisi ja urautuisi vain tiettyihin tutkimusmetodeihin.

Eri tutkimusmenetelmissä ja niiden tulkitsemisessä ongelmana ovat raja-arvot. Suurimmalla osalle tutkimusmenetelmistä ei voida asettaa suoraan terveysperäisiä raja-arvoja, joiden perusteella voitaisiin tulkita onko havaituista ainepitoisuuksista haittaa ihmisille. Terveysperusteisia raja-arvoja ei ole voitu tarkkaan asettaa, koska kaikkien haitta-aineiden vaikutuksia ihmisille ei tunnetta tarkkaan (Putus 2014). Raja-arvojen asettamista vaikeuttaa huomattavasti se, että eri ihmiset reagoivat eri aineille hyvinkin eri tavoilla ja eri pitoisuuksissa. Voi olla aineita ja pitoisuuksia, jotka eivät aiheuta mitään ongelmia osalla, mutta vastaavasti samat aineet ja pitoisuudet saattavat aiheuttaa vakavia oireita osalle ihmisistä. Ihmisten reagointiin vaikuttaa vanhat sairaudet, kasvuympäristöt, elämäntavat ja muut vastaavat tekijät, joten on mahdotonta luoda tarkkaa haitta-aineiden raja-arvojärjestelmää kaikille aineille. On olemassa haitta-aineita, joita ei saa olla yhtään sisäilmassa, jolloin haitan arvioiminen on helppoa, mutta suurinta osaa haitta-aineista esiintyy luonnostaakin monissa kohteissa matalina pitoisuuksina.

Asumisterveysohje antaa osalle haitta-aineista suuntaa antavia raja-arvoja, joiden perusteella tutkijat voivat arvioida haitan vakavuutta. Muita raja-arvopitoisuuksia antavat esimerkiksi Maailman terveysjärjestö (WHO), Sosiaali- ja terveysministeriö (HTP-

arvoina eli haitallisiksi tunnetut pitoisuudet), rakennusmääräyskokoelma D2 (sisäilman epäpuhtauksien pitoisuudet) ja sisäilmaluokitus. (Säteri 2008; Valvira 2011; Sosiaali- ja terveysministeriö 2014; RakMK D2 2012)

HTP-arvot ovat tarkoitettu työpaikoille ja työolojen arvioimista varten. HTP-arvot ovat monta kertaluokkaa suuremmat kuin asuntojen sisäilmasta tavallisesti mitataan, joten HTP-arvojen käyttäminen ei usein ole perusteltua asuinrakennusten sisäilman tutkimisessa. HTP-arvoja voidaan käyttää osin ongelmien arvioimisessa, ja jos pitoisuudet ylittävät HTP-arvot, voidaan haitta todeta lähes varmasti. (Valvira 2011)

Raja-arvoja tulkittaessa täytyy ymmärtää eri aineiden merkitys terveydelle. Haitallisimmissa ja vaarallisimmissa aineissa on parempi käyttää aina pienimpiä raja-arvojen arvioita kun taas pienempiä haittoja aiheuttavissa aineissa raja-arvot ja niiden pienet ylitykset eivät välttämättä aiheuta haittaa. Sisäilmatutkijan tulee ymmärtää sisäilmaston kokonaisuus ja sen perusteella pystyä tulkitsemaan mitattuja arvoja ja niiden haittapitoisuuksia. Koska ihmiset reagoivat eri pitoisuuksiin eritavoilla, on normaalia, että kaikkia tiloja ei voida saada sellaisiksi, että 100 % ihmisistä on oireilematta. Terveysviranomaiset ovat asettaneet eri prosenttiarvoja oireilevista ihmismassoista, jolloin voidaan olettaa rakennuksessa olevan sisäilmaongelmia. Suurissa kohteissa voi olla joku pahasti altistunut ihminen, joka ei välttämättä pysty palaamaan tiloihin vaikka ne olisivatkin korjattu asianmukaisiksi (Fränti 2014). Tutkijan täytyy käyttää kokemusta ja harkintaa ehdottaessaan korjaustarpeita ja havaittujen haittojen merkitystä ihmisille.

Tässä luvussa on esitetty yleisimpiä sisäilmaston tutkimusmenetelmiä, niiden suorittamisen ohjeistuksia ja käytettyjä raja-arvoja. Tarkoitus on antaa lukijalle perustiedot yleisimmistä tutkimusmenetelmistä ja niiden suorittamisesta käytännössä. Kaikille tutkimusmenetelmille on olemassa omat tarkemmat ohjeet, joihin tutkijan on hyvä perehtyä ennen tutkimusten suorittamista, mutta tämän työn tiedoilla lukija saa hyvän käsityksen käytetyistä menetelmistä.

## 5.1 Sisäilma- ja käyttäjäkyselyt

Ennen sisäilmatutkimusten aloittamista voidaan tutkittavasta kohteesta selvittää käyttäjien mielipiteitä sisäilman laadusta. Kartoituksilla voidaan usein selvittää mitä ongelmia käyttäjät kokevat ja missä tiloissa. Kyselyjen tarkoitus on antaa lähtötietoja, joiden avulla voidaan suunnitella suoritettavien tutkimusten sisältöä ja kohdentamista. Sisäilmaongelmia tutkittaessa on aina tärkeää kuulla käyttäjiä, sillä he oleilevat tiloissa eniten ja osaavat kertoa sen perusteella usein sellaisia asioita, joita tutkijat eivät pysty huomioimaan lyhyellä oleskelulla kohteessa. Hyväksi sisäilmaksi määritellään sellainen ilma, johon käyttäjät ovat tyytyväisiä, eli käsite on hyvin vaihteleva ihmisten erilaisuudesta johtuen. (Viljanen et. al. 1997)

Kyselyt voidaan karkeasti jakaa kahteen tyyppiin. Kevyempi kyselytyyppi on käyttäjäkysely, jossa kartoitetaan havaintoja mahdollisista kosteus- ja homevaurioista. Lisäksi kyselyssä kartoitetaan kokemuksia sisäilman laadusta. Raskaampi kysely on Örebro oirekysely (MM-40) ja sen eri variaatiot. Örebro-kyselyssä kerätään tietoa sisäil-

masto-olosuhteista, sisäilmaongelmista ja lisäksi käyttäjien oireiluista. Örebro kyselyt ovat huomattavasti raskaampia kuin käyttäjäkyselyt.

Örebro sisäilmastokyselyiden käyttöoikeus on Työterveyslaitoksella. Kyselyn tekemisestä muodostuu henkilörekisteri, jonka pitäminen vaatii luvan. Kyselyssä on paljon terveyteen ja oireiluun liittyviä kysymyksiä, joten tulosten tulkitseminen vaatii lääkäriä. Usein raskaammat Örebrot kyselyt toteutetaan erillisen palveluntarjoajan toimesta, jolloin tulokset tulkitaan valmiiksi. Palveluita tarjoavat Työterveyslaitos ja yksityiset yritykset. (Sisäilmayhdistys 2015)

Kyselyiden toteuttaminen vaatii tietoa kohteesta ja käyttäjistä. Usein sisäilmaongelmasta kärsivässä kohteessa osa käyttäjistä oireilee ja osa ei, joten kyselyt pitää suorittaa satunnaisotantana tai kaikilta käyttäjiltä. Kyselyitä ei kannata suorittaa tilanteissa, joissa käyttäjät ovat jakautuneet vahvasti oireileviin ja terveisiin. Usein nämä tilanteet ovat herkkiä, eikä kyselyitä tule käyttää tällaisissa tilanteissa, sillä jakautuneet mielipiteet vaikuttavat helposti kyselyn tuloksiin. (Sisäilmayhdistys 2015)

Kyselyt soveltuvat parhaiten suurille kohteille, joissa on paljon ihmisiä ja erilaisia tiloja. Pienimmät ryhmät, joille kyselyä kannattaa harkita, ovat 10 henkeä. Tätä pienempien kohteiden lähtötietojen ja oireilujen kerääminen on varmempaa ja helpompaa suorilla käyttäjähaastatteluilla. (Sisäilmayhdistys 2014b)

Kyselyiden tulkinta vaatii perehtymistä asiaan ja Örebro-kyselyiden tapaiset kyselyt vaativat lääkärin esitulkintaa tuloksista. Raskaimmista kyselyistä tulee tulosten kooste, jonka perusteella sisäilmatutkija voi miettiä mahdollisia oireiden ja haittojen aiheuttajia. Usein sisäilmatutkijalle riittää tieto rakenteellisista vauriohavainnoista ja missä tiloissa ihmiset oireilevat. Yksittäisten oireiden tulkinta ei kuulu sisäilmatutkijalle ja liian pitkälle viedyt johtopäätökset oireiden perusteella voivat olla harhaanjohtavia, sillä usein eri sisäilmaongelmat aiheuttavat samankaltaisia oireita ja oirehtimiset vaihtelevat paljon ihmisten välillä (Koskinen 2014). Kun tutkijalla on tieto oireiluista, tieto missä tiloissa oireillaan ja oireet ovat tyypillisiä sisäilmaoireita (päänsärky, tukkoisuus, yskä, kurkkukipeä yms.) on hänellä tarvittavat tiedot lähteä tutkimaan kohdetta. Usein tarvittavat tiedot sisäilmatutkijalla on nopeammin, helpommin ja edullisemmin selvitettävissä käyttäjähaastatteluilla (Fränti 2014). Ongelma käyttäjähaastatteluissa on oikeiden ihmisten tavoittaminen ja aikataulujen sovittaminen.

## 5.2 Riskirakenneanalyysi

Riskirakenneanalysointi, riskiarvio tai rakenteiden arviointi piirustuksista tarkoittavat usein samaa asiaa. Riskirakenneanalysoinnilla pyritään selvittämään lähtötietojen perusteella kohteen vaurioherkimmät rakenteet, niiden sijainti sekä vaikuttaminen mahdollisesti sisäilman laatuun. Kun tiedetään ennen tutkimusten aloittamista kohteen riskirakenteet, voidaan tutkimukset kohdentaa tehokkaammin. Riskirakenteiden arvioinnin voi suorittaa ilman kohdekäyntiä hyvillä lähtötiedoilla, mutta sitä tulee tarkentaa ja oikeellisuutta varmistaa kohdekäyntien yhteydessä. (Fränti 2014)

Riskiarvion lähtötietoihin kuuluu muun muassa rakennepiirustukset, pohjapiirustukset, LVI-piirustukset, käyttäjäkyselyt, aikaisemmat tutkimukset kohteesta ja korjaushistoria. Pohjakuvista voidaan esimerkiksi tarkastella märkätilojen sijaintia muihin tiloihin nähden. Rakennekuvista voidaan päätellä esimerkiksi ovatko rakenteet suunniteltu tarpeeksi tiiviiksi, kylmäsillat minimoitu, mitä materiaaleja on käytetty, mitkä ovat rakenerrokset, onko salaojia suunniteltu ja onko vedeneristystä tai tuuletusta sitä tarvitsevilla rakenteilla (Koskinen 2014). LVI-kuvista voidaan nähdä ilmanvaihdon palvelualueet ja mitoitusarvot. Palvelualueilla voidaan päätellä mahdollisten epäpuhtauksien leviämistä muihin tiloihin tai millaisille ihmismäärille ilmanvaihto on mitoitettu (Holopainen et al. 2012). Suunnitelmien perusteella saadaan tietään myös rakenteiden ikä, jonka perusteella voidaan arvioida esimerkiksi laitteiden käyttöikä, käytettyjen materiaalien vanhenemista ja rakennusajankohdan mukaisia yleisiä rakennustapoja. Korjaushistoria on tärkeä lähtötieto, sillä kaikki rakenteiden muutokset vaikuttavat kokonaisuuden toimintaan (Koskinen 2014).

Riskirakenteiden arvioijalla tulee olla laaja tietämys rakentamisesta, rakennushistoriasta ja rakennusfysiikasta, jotta analysointi onnistuu. Riskiarvion tekijä olisi hyvä olla sama henkilö tai vähintään tutkimusryhmän jäsen, joka käy fyysisesti tutkittavassa kohteessa. Kohdekäynnillä riskiarviota voidaan tarkentaa ja todeta vastaavatko dokumentit toteutettuja rakenteita. (Viljanen et. al. 1997)

Rakenne- ja arkkitehtipiirustuksista riskiarviota tehdessä tulee kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin ja niiden rakennusfysikaaliseen toimivuuteen: (Rateko 2014)

- onko kosteuden- ja vedeneristeet merkitty piirustuksiin,
- onko rakenne altis maakosteudelle,
- onko rakenteissa ilmavuotoriskejä,
- onko rakenne työteknisesti niin vaikea, että toteutuksen onnistumista on syytä epäillä,
- onko rakenteissa käytetty vanhetessaan pilaantuvia materiaaleja, jotka ovat nykyään riski,
- ovatko kaikista rakenteista yleispiirustukset tai detaljipiirustukset tallessa,
- onko rakenteissa pintavesiä tai muita vesiä kerääviä alueita,
- onko rakennuksessa salaojajärjestelmä, ja jos on, ovatko tarkastuskaivot olemassa,
- onko rakenteissa kylmäsilta alueita tai
- edellyttävätkö rakenteet huolto- tai kunnossapitotoimenpiteitä, jos vaatii ovatko ne tehty?

LVI-suunnitelmista on tärkeää huomioida seuraavia asioita: (Rateko 2014)

- vesijohtojen, viemäreiden, lämmitysputkien ja jäähdytysputkien sijainti rakenteissa,
- putkissa ja kanavissa käytetyt eristeet,
- onko salaojia (voivat olla LVI-kuvissa),
- tilojen suunnitellut ilmamäärät ja säätömahdollisuudet,
- ilmanvaihdon mittaus- ja säätöpöytäkirjat sekä

- rakenteiden läpiviennit ja niiden suunnittelu.

Yllämainittujen huomioiden avulla voidaan arvioida ovatko rakenteet toimivia vai liittyykö niiden toimintaa esimerkiksi kosteusvaurioriski (Rateko 2014). Erilaisille ja varsinkin normaalista poikkeaville rakenteille on kannattavaa tehdä laskennallisia tarkasteluja (Koskinen 2014). Nykyään on useita tietokonelaskentaohjelmia, joiden avulla voidaan laskea rakenteiden kosteus- ja lämpökäyttäytymistä erilaissa teoreettisissa olosuhteissa. Laskentaohjelmia ovat muun muassa Wufi 2D ja 3D, joilla voidaan mallintaa rakennetta ja ympäristön olosuhteita (Vinha 2011). Usein rakenteet saattavat vaikuttaa toimivilta, mutta kun niille tehdään rakennusfysikaalinen tarkastelu erivuoden aikojen olosuhdetiedoilla, huomataan, että rakenne saattaa kerätä kosteutta (Vinha 2011). Riskirakenteen analysointia käytetään myös vaurioiden levinneisyyden arviointiin. Vaurioituvien rakenteiden sijaintia ja määrää arvioidaan myös erikoistapauksissa, joissa esimerkiksi tulipalon sammutusvesien aiheuttamia ongelmia arvioidaan rakenteissa (Viljanen et. al. 1997).

### 5.3 Aistinvaraiset havainnot

Aistinvarainen havainnointi on yksi tärkeimmistä ja tehokkaimmista tutkimusmenetelmistä sisäilman kuntotutkimuksissa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Aistinvaraiseen havainnointiin kuuluu ihmisen kaikkien aistien käyttäminen ongelmien havainnointiin, eikä havaintojen tekeminen vaadi työkaluja. Harjoiteltu aistien käyttäminen on nopeaa ja luetettavaa tutkimista, jonka avulla voidaan kohdentaa tarkempia ja eksaktimpia tutkimusmenetelmiä tehokkaasti (Koskinen 2014).

Näköaistia ihminen käyttää kokoajan, mutta sen käyttöön liittyy rajoitteita ja huomioitavia asioita. Näköaisti on ihmisen tärkein tiedonsaantikanava (Ovaska 2012). Näköaistilla ihminen muodostaa kuvan nopeasti ympäristöstään ja aivot käsittelevät näköhavaintoja. Sisäilman kuntotutkimuksissa näköaisti on hyödyllinen, mutta sen käyttöä ja havainnointia pitää harjoitella. Näkeminen on nopeaa, mutta oikeiden asioiden havaitseminen voi olla vaikeaa. Kun tutkija tuntee rakenteiden toimivuuden ja ymmärtää rakenteiden turmeltumista, hän osaa etsiä paremmin vaurioihin viittaavia asioita rakenteista. Näköaistin käytössä pitää tietää miten silmät ja aivot rekisteröivät tietoa, jotta tutkija oppii tehokkaan ja tarkan tavan havainnoida oikeita asioita. Näköaisti havainnoi eri asioita eritavalla. Näköaisti poimii: (Ovaska 2012)

- liikkeen ennen paikalla olevaa
- lähellä olevan ennen kaukana olevaa
- värillisen ennen mustavalkoista
- isot ennen pieniä
- kuvan ennen tekstiä
- kirkkaat värit ennen murrettuja
- lämpimät värit ennen kylmiä
- tumman ennen vaaleaa ja
- poikkeavan ennen säännön mukaista.



Näköaisti poimii myös havainnoijaa kiinnostavat asiat ensin. Ihmisillä on taipumus aktiivisesti organisoida näkemäänsä ja sitä kautta erilaiset hahmot ja kokonaisuudet tulevat yleensä helposti esille (Ovaska 2012). Näköhavainnointi on yksilöllinen, mutta sitä voi kehittää. Kun näköhavainnointia harjoittelee, pystyy löytämään itselleen sopivan tavan lähestyä tutkittavia tiloja. Näköaistia voi rajoittaa esimerkiksi värisokeus tai huono näkö. Tilojen tutkimiselle näön avulla täytyy antaa tarpeeksi aikaa, jotta silmä ehtii havaita kaikki etsittävät asiat. Suurissa sekä sekavissa tiloissa menee aina enemmän aikaa havainnoida tarvittavat asiat. Tilojen havainnointiin kannattaa luoda oma rutiini ja tarkistaa aina tietyt asiat tietyssä järjestyksessä, jotta mitään ei jää huomioimatta (Koskinen 2014).

Hajuaisti on tärkeä havainnointikeino, kun etsitään sisäilmaongelmia. Yleensä haju-havainnot yhdistetään pelkästään mikrobivaurioihin, mutta todellisuudessa ihminen pystyy myös haistamaan esimerkiksi erilaisia VOC-päästöjä. Hajuaistilla voidaan havainnoida tiloissa olevia normaalista poikkeavia hajua, jotka voidaan yhdistää materiaalien tai rakenteiden vaurioitumiseen. Hajuaistin käyttäminen vaatii harjoittelemista, sillä nykyihminen ei yleensä aktiivisesti analysoi haistamiaan asioita. Kun hajuaistin käyttämistä harjoittelee, pystyy sillä havaitsemaan kokoajan tarkemmin erilaisia hajuja ja erotamaan tiettyjä hajuja muiden joukosta. Ihminen pystyy myös muistamaan hajut hyvin pitkään, joten kokenut sisäilmatutkija, joka tietää mille eri materiaalit haisevat pystyy havaitsemaan tutut vaurioiden ja haitta-aineiden hajut tilasta. (Yle Oppiminen ja ympäristö 2015; Jyväskylän Viiniklubi ry 2014)

Tuntoaistia on hyvä käyttää näköhavaintojen varmistamiseksi tai materiaalien tunnistamisen tukena. Kuntotutkimuksissa voidaan tehdä tuntohavaintoja esimerkiksi ilma-virtauksista kasvojen tai kämmenselän iholla, jossa on herkät aistipinnat. Ihminen aistii helposti tiloissa olevia ilma-virtauksia tai vedontunnetta ilman mittalaitteitakin (Fränti 2014). Sormilla tutkija voi tunnustella materiaaleja tai niiden pintoja tehden tarkentavia havaintoja esimerkiksi kosteudesta, elastisuudesta, painosta ja lämmönjohtavuudesta. Tunnustelemalla materiaaleja voidaan saada kuva niiden kunnosta, kun tiedetään miltä materiaalien tulisi tuntua toimivina tai uusina. (Yle Oppiminen ja ympäristö 2015; Fränti 2014)

Kuuluaistia voidaan hyödyntää sisäilmaston havainnoinnissa. Kuulolla voidaan havaita normaalista poikkeavia ääniä, joiden perusteella voidaan tehdä tarkempia havainnointeja. Kuuloaistista ei ole niin paljon hyötyä sisäilmaongelmien tutkimisessa kuin näkö-, haju- ja tuntoaisteilla, mutta kuuntelua ei saa unohtaa muita havaintoja tehtäessä. Yleisiä kuultavia vaurioita ovat veden tippuminen tai ilma-virtauksen vinkuminen tiloissa, joissa niitä ei saisi olla (Fränti 2014).

## 5.4 Materiaalien tunnistaminen

Materiaalien tunnistaminen on tärkeää, jotta voidaan havaita ja tunnistaa sisäilman ongelmien aiheuttajat. Materiaalien tunnistaminen tarkoittaa, että tutkija pystyy sanomaan, mikä materiaali on kyseessä ja mihin sitä on käytetty. Materiaalin erikoisominaisuudet

on tiedettävä, jotta tunnistamisesta on hyötyä sisäilmaongelmien tutkimisessa (Koskinen 2014).

Rakennuksissa on käytetty lukuisia erilaisia materiaaleja kautta historian. Kuntotutkijalle ei riitä, että tunnistaa kaikki nykyään käytetyt perusmateriaalit vaan on pystyttävä tunnistamaan tai selvittämään kaikki rakennushistoriassa käytetyt materiaalit. Jos kohdataan materiaaleja, joista ei ole tietoa, on kyettävä ottamaan selvää, mikä materiaali on kyseessä ja mitä ominaisuuksia sillä on (Koskinen 2014).

Eri aikakausina on käytetty paljon erilaisia rakennusmateriaaleja, joiden on uskottu olevan hyviä, mutta myöhemmin materiaaleista on paljastunut haittavaikutuksia. Yleisiä materiaaleja, jotka on todettu olevan myöhemmin haitallisia terveydelle tai rakenteiden toimivuudelle ovat esimerkiksi asbesti ja ensimmäiset lastulevyt (Vikström 1993; Pentti 2012a).

Materiaalien tunnistamiseen riittää hyvällä tietämyksellä aistinvaraiset havainnot eli näkeminen, tunnustelu ja haistelu. Jos materiaalia ei voi aistinvaraisesti tunnistaa tai sen koostumuksesta ei voida olla varmoja, voidaan materiaalista ottaa näyte ja toimittaa se tutkivaan laboratorioon. Tutkivia laboratorioita on Suomessa useita ja niiden antamien analyysien perusteella saadaan usein tietoon mitä aineita näyte sisältää. Laboratoriotutkimuksia on useita erilaisia ja niiden tutkimusskala vaihtelee tarpeiden mukaan. Näyttemateriaalista on mahdollista selvittää yksittäisiä ainepitoisuuksia, kuten esimerkiksi asbestia tai vastaavasti analysoida mahdollisimman tarkasti kaikki aineet mitä laboratorio pystyy näytteestä tunnistamaan (Eurofins 2014).

Kun tutkija löytää itselleen tuntemattomia materiaaleja, on hyvä varmistaa löydökset esimerkiksi toisella kokeneemmalla tutkijalla tai laboratoriossa. Kokemuksen myötä tutkija oppii itse tunnistamaan materiaalit luotettavasti omin avuin aistinvaraisesti. Kun materiaaleja tarkastelee lähemmin mikroskoopilla tai suurennuslasilla, voidaan niitä tunnistaa paremmin tai huomata poikkeamia. Arvioimalla materiaalin ikää voidaan saada tietoa myös sen kunnosta. (Fränti 2014).

Materiaalien tunnistaminen on erittäin tärkeää muun muassa asbesti kartoituksissa, joissa määritetään asbestia sisältävät materiaalit ja niiden määrät. Asbestia on käytetty monessa rakennusmateriaalissa ja sen tunnistaminen vaatii kokemusta. Jos materiaali ei tunnisteta asbestikartoituksessa tai ei voida olla varmoja sisältääkö kyseinen aine asbestia, on materiaalista parempi ottaa näyte laboratorioon analysoitavaksi (Vikström 1993). Kokenut tutkija pystyy esimerkiksi tunnistamaan asbestia sisältävän lattialaatan ottamalla sen irti ja katkaisemalla sen käsin. Asbesti on vahva kuitu, joten siitä valmistetut lattialaatat katkeavat terävästi. Myös lattialiimat, jotka ovat mustia ja samalta aikakaudelta sisältävät usein asbestia. Tämän tapaiset materiaalien tunnistustaidot kertyvät kokemuksen myötä ja kokeneempien tutkijoiden kanssa työskennellessä (Koskinen 2014).

## 5.5 Kosteusmittaukset

Yleensä kuntotutkimuksissa havainnoidaan aluksi rakenteiden kosteustasoja pintoja rikkomattomilla menetelmillä. Pintoja rikkomattomia menetelmiä ovat esimerkiksi ais-

tinvaraiset havainnot ja pintakosteusmittaukset. Jos näiden perusteella epäillään kosteusvauriota, suoritetaan tarkempia kohdistettuja mittauksia, joilla saadaan tietää tarkat kosteusarvot. Tarkat mittaukset vaativat aina pintojen rikkomista ja vievät useita päiviä aikaa. (Merikallio 2002)

Kosteusmittausmenetelmiä, mitä Suomessa käytetään, ovat pintakosteusmittaukset, suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät eli porareikämittaukset, vastusmittaus ja kuivatus-punnitus-menetelmä. Näistä menetelmistä kuntotutkimuksissa käytetään yleensä vain pintakosteusmittausta ja RH-mittausta eli porareikämittausta. Jos porareikämittausta ei voida suorittaa, voidaan tarvittaessa ottaa näytepaloja suhteellisen kosteuden mittaukseen. (Koskinen 2014)

Betoni on huokoista materiaalia, joka pyrkii hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäristön kanssa. Käytännössä betoni sekä luovuttaa, että vastaanottaa kosteutta ympäristöstä pyrkien tasapainotilaan. Tasapainotilan saavuttaminen betonirakenteilla voi viedä jopa vuosia. Ajallisten rasitus- ja olosuhde muutosten takia kosteusrasitukselle alttiina oleva rakenne harvoin saavuttaa tasapainoa (Suonketo 2015). Jos betonin ympäristön olosuhteet eivät pysy tasaisina, kuten esimerkiksi rakennusten alapohjissa, jotka ovat kosketuksissa maan kanssa, betonirakenteet ovat koko ajan joko kuivumassa tai kostumassa. Joten erityisesti maapohjarakenteiden kosteusmittaustuloksissa ympäristön vaikutukset ovat suuret. Muuttuvien ympäristöolosuhteiden takia kosteusmittaus tulkinnoissa ei ole olemassa tiukkoja universaaleja raja-arvoja, jotka määrittävät onko rakenne on vaurioitunut tai ei. Tulokset pitää aina suhteuttaa mitattavaan materiaaliin, kyseeseen tuleviin vaurioitumisilmiöihin ja kokonaisuuden toimintaan ympäröivissä rakenteissa (Merikallio 2002).

Kuntotutkimuksissa betonirakenteiden kosteusmittauksilla tarkoitetaan yleensä betonin huokosilman suhteellisen kosteuden mittaamista. Huokosilman suhteellinen kosteus ja betonin absoluuttinen kosteuspitoisuus painoprosentteina eivät ole sama asia, vaikka ne voidaan suuntaa antavasti arvioida toisistaan, kun tunnetaan olosuhteet ja tutkittavat materiaalit. RH-mittaus kattaa vain osan betonin mahdollisesti sisältämästä kosteuspitoisuudesta (Suonketo 2015). Mitattavien suureiden ero selittyy sillä, että huokosilman kosteuden lisäksi betonin huokosten pintaan on fysikaalisesti kiinnittynyt vesimolekyylejä. Koska eri betonilaaduilla on erilaisia huokosrakenteita riippuen lisäaineista ja vesisementtisuhteista, voi kahdella eri laatuksella betonilla olla sama huokosilman suhteellinen kosteus, vaikka niiden vesipitoisuus painoprosentteina on eri (Suonketo 2015). Painoprosentteina kosteuspitoisuus voidaan määrittää tarkasti vain kuivatus-punnitus-menetelmällä. Uudisrakentamisessa on olemassa eri betonilaaduille hygroskooppisia tasapainokäyriä, joiden avulla voidaan arvioida betonin vapaata haihtumiskykyistä vesimäärää ( $\text{kg/m}^3$ , paino- %) tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla ja päinvastoin, mutta näistä ei ole yleensä apua kuntotutkimuksissa, koska tutkittavan betonin laatua ei tiedetä (Merikallio 2002).

### 5.5.1 Pintakosteusmittaukset

Pintakosteusmittaukset ovat rakenteita rikkomattomia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla voidaan arvioida nopeasti laajojen alueiden kosteuseroja. Pintakosteusmittarien eli pintakosteudenosoittimien toiminta perustuu sähkönjohtavuuden, kapasitanssin tai dielektrisyyden muutoksiin tutkittavassa materiaalissa veden kosteuspitoisuuden muuttuessa. Käytännössä materiaalin sisältämä kosteus havaitaan pintakosteusmittareilla, koska märkä ja kuiva rakenne käyttäytyvät eritavalla sähköisesti. (Merikallio 2002)

Pintakosteusmittaukset eivät kerro rakenteiden kosteuspitoisuutta tai kosteuden sijaintia luotettavasti, joten pintakosteusmittausta ei voida käyttää virallisena kosteusmittauksena asumisterveysoppaan 2009 mukaan (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009, s.48). Pintakosteusmittauksia voidaan käyttää esimerkiksi suurien alueiden mahdollisen kosteusjakauman arvioimisen apukeinona ns. referenssikohta menettelyllä (Merikallio 2002). Pintakosteusmittauksen avulla voidaan määrittää tarkemmat alueet, joihin suoritetaan oikeat rakennekosteusmittaukset.

Eri valmistajien pintakosteusmittarit toimivat eritavoilla ja näyttävät mitatut arvot eri asteikoilla. Tulokset ovat vertailukelpoisia vain mitattaessa samaa materiaalia samoilla mittarimalleilla (Rateko 2014). Pintakosteusmittauksissa eri betonilaaduilla saadaan merkittävästi erilaisia mittaustuloksia. Betonien sisältämät lisäaineet ja sementtimäärät vaikuttavat betonin sähkönjohtavuuteen ja tätä kautta pintakosteusmittarien tuloksiin. Yleensä mitä suurempi sementtimäärä betonissa on tai mitä alhaisempi vesisementtisuhte on, sitä paremmin betoni johtaa sähköä eli pintakosteusmittarit osoittavat korkeampia kosteusarvoja (Merikallio 2002). Erilaiset pinnoitteet, betonin sisältämät raudoitteet tai pinnassa olevat sähköjohdot vaikuttavat pintakosteudenosoittimien arvoihin, joten tutkijan pitää ottaa huomioon näiden mahdollinen vaikutus tuloksia luettaessa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009, s.49). Käytännössä usein vasta tasomainen metalli pystytään havaitsemaan pintakosteusmittarilla. Erilaiset mittarit voivat poiketa herkkyydellä huomattavasti toisistaan (Suonketo 2015). Staattisen sähkön suojattujen lattiamateriaalien läpi ei saada mittaustuloksia pintakosteusmittareilla.

Pintakosteusmittausten suorittaminen on nopeaa, kun tutkimus suoritetaan suunnitellusti ja järjestelmällisesti. Pintakosteusmittarilla käydään tutkittavaa tilaa läpi yleensä rakenne kerrallaan. Esimerkiksi tilan lattiat kartoitetaan aloittaen nurkasta, josta lukien tila käydään läpi järjestelmällisesti kirjaten ylös mittarin arvoja. Mittauslukemia otetaan, riippuen rakenteesta ja tilasta, noin 50–100 cm välein. Jos havaitaan poikkeamaa pintakosteusarvoissa, tutkimusverkkoa supistetaan, jolloin mittaustuloksia otetaan esimerkiksi 10 cm välein. Kosteissa tiloissa, joissa kosteusvauriot voivat olla hyvin paikallisia tutkimusverkko on oltava suppeampi alusta alkaen. Kun lattia on käyty kokoaan läpi, tutkijalla on kartta, jossa on merkitty mitta-arvojen jakaumat. Tutkijan täytyy tuntea käyttämänsä mittarit, jotta hän osaa kirjata tuloksia oikealla tarkkuudella ja arvioida mitkä ovat merkittäviä poikkeamia normaalista. Kirjattuja arvoja verrataan tilassa kuivaksi oletettavan alueen arvoihin. Tutkimuskartan avulla voidaan arvioida oliko tilassa suuria poikkeamia, joiden perusteella tilaan tarvitsisi tehdä rakennekosteusmittauksia

(Ympäristö ja Terveys-lehti 2009, s.49). Pintakosteusmittauksia tehdään tarvittaessa lattian ja katon lisäksi seiniin.

Toinen tapa suorittaa pintakosteusmittauksia on määrittää alussa rakenteen normaalitypoisuus, jota voidaan pitää kuivana. Kun normaali taso tiedetään, tilat skannataan läpi pistokokeen tapaisesti. Kun havaitaan poikkeamia pintakosteusmittarin arvoissa, aluetta tutkitaan tarkemmin ja poikkeamat kirjataan ylös. Tämä tutkimusmuoto on nopeampi kuin järjestelmällinen tilojen läpikäynti, mutta se vaatii kokemusta tutkimusten suorittamisesta ja kokonaisuuden hahmottamisesta, jotta kaikki potentiaalisimmat riskikohdat tulee läpikäytyä.

Yleisimmät virheet, jotka tehdään pintakosteusmittauksissa, tutkittaessa laajoja alueita, ovat mittarin liian nopea lukeminen ja mittarin väärä käyttökulma. Kaikki mittarit vaativat pienen hetken mittauksen suorittamiseen. Jos mittarin ei anneta olla tarpeeksi kauan paikallaan, lukema ei ole välttämättä tasaantunut eli mittari ei ole ehtinyt mitata arvoa loppuun. Käytännössä suurin osa mittareista mittaa arvon noin sekunnissa, mutta jos mittaria ei pysäytä mittauspisteeseen, eivät arvotkaan ehdi tasaantua. Toinen helposti tehtävä virhe on mittarin mittauskulman muuttaminen (Koskinen 2014). Jokaisella mittarilla on valmistajan antamat ohjeet, missä kulmassa mittaria tulee käyttää suhteessa mittauspisteeseen. Poikkeamat tästä mittauskulmasta aiheuttavat suuria heittoja mittauservoissa. Käytännössä, jos kurotetaan kauaksi tai yritetään mitata matalia tiloja, mittarin mittauskulma ylittyy helposti.

Pelkkien pintakosteusmittausten perusteella ei tule tehdä ratkaisevia johtopäätöksiä (Rateko 2014). Usein vastaan tulee kuitenkin tilanteita, joissa havaitaan selkeitä viitteitä kosteusrasituksesta, jonka lisäksi pintakosteusmittari näyttää märkää. Tällaisessa tilanteessa pintakosteuslukemat saattavat riittää kosteuden todentamiseen. Esimerkkitilanne voisi olla kellarin maanpaineisinä, jonka maalipinta hilseilee ja pintakosteusmittari näyttää selvästi märkää. Tässä tilanteessa kokeneelle tutkijalle riittää pintakosteusmittarin arvot johtopäätösten tekemiseen (Suonketo 2015). Usein tärkeimmät havainnot on hyvä varmistaa oikeilla rakennekosteusmittausmenetelmillä (Merikallio 2002).

### 5.5.2 Rakennekosteusmittaukset (materiaalin RH%)

Koska kuntotutkimuksissa puhutaan yleensä vain rakenteiden suhteellisesta kosteudesta, tässä kappaleessa käsitellään tutkimusmenetelmät, joilla mitataan suoraan suhteellista kosteutta materiaaleista. Kun kaikki tulokset ilmoitetaan suhteellisina kosteuksina, ovat tulokset helpommin vertailtavissa ja tulkittavissa myös eri kohteiden ja mittaajien välillä. Suhteellisen kosteuden yleisiä mittausten menetelmiä ovat porareikämittaukset, viilto- ja näytepalamittaukset.

Porareikämittaukset ovat yleisin tapa määrittää betonirakenteiden suhteelliset kosteudet kuntotutkimuksissa. Porareikämittauksessa betoni- tai tiilirakenteisiin porataan kuivaporausmenetelmällä mittauseriä haluttuihin mittaussyvyysiksiin. Reikien koko riippuu käytettävistä mitta-antureista, mutta yleisimmät koot ovat 8 mm ja 16 mm. Uudiskohteissa käytetään yleensä 16 mm reikiä, hieman paremman tarkkuuden takia. Vanhojen talojen kuntotutkimuksissa käytetään 8 mm reikiä, sillä mitä pienempi reikä, sitä

helpompi se on paikata ja sitä huomaamattomampi se on jälkeensä. Mittaussyvyys määrittyy rakenteen paksuuden ja tutkittavan asian perusteella. Yleinen mittaussyvyys kuntotutkimuksissa on noin 25–60 mm. Mittauspisteitä olisi hyvä olla mahdollisuuksien mukaan useammassa syvyydessä, jolloin pystytään määrittämään rakenteen kosteusjakauma (Merikallio 2002).

Porareikämittauksen paikka valitaan yleensä aistinvaraisten havaintojen tai pintakosteusmittausten perusteella. Porareikämittausten tekeminen rikkoo rakenteita ja vie paljon aikaa, joten mittauspisteiden määrää on rajoitettava. Mittauspisteitä voidaan tarvittaessa sijoittaa myös kuivaksi oletetuille alueilla, jotta saadaan tietää kohteen kuivan referenssin kosteustaso (Merikallio 2002). Tämä on kuitenkin normaali kuntotutkimuksissa harvoin tarpeellista (Suonketo 2015).

Kun mittausreikä on porattu, se täytyy pudistaa betonipölystä huolellisesti. Käytännössä suurimmat pölyt imuroidaan ja loput puhalletaan pois reiästä esimerkiksi käsi-paineilmapumpulla. Jos käytetään koneellista paineilmaa tai pulloissa olevaa ponnekaasua, reikä voi kylmetä niin paljon, että se kondensoi vettä. On myös mahdollista, että paineilmapulloista tulee kondensoitunutta vettä mukana (Koskinen 2014). Jos mittausreikä puhdistetaan huonosti ja sinne jää betonipölyä, se vaikuttaa mittaustuloksiin. Pölyinen reikä antaa yleensä liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja (Merikallio 2002).

Mittausreiän puhdistamisen jälkeen reikään asennetaan tarkoitukseen sopiva mittausputki, joka tiivistetään reunoilta ja päästä. Tiivistyksen voi tehdä elastisella ja tiiviillä massalla, kuten Mal-kitillä tai sinitarralla. Mittausputken tarkoitus on estää reiän sivuilta kosteuden päästy mittauspisteeseen, jolloin saadaan mitattua suhteellinen kosteus vain reiän pohjalta eli halutulta mittaussyvyydeltä. Jos putkea ei käytetä, mittaustulos ei ole reiän syvyyden keskiarvokosteus, sillä reiän kosteammasta paikasta haihtuu yleensä enemmän mitä kuiva paikka ehtii sitoa. Putkettomalle mittaustulokselle ei ole käytännössä virkaa tai käyttöä (Suonketo 2015). Kosteuden pitää antaa tasaantua mittausputkessa noin 3–7 vuorokautta. Mittausanturi voidaan laittaa reikään vasta juuri ennen mittausta (Merikallio 2002).

Kosteusmittausohjeistuksien mukaan kun mittaus suoritetaan, täytyy mittajan mitata myös ulko- ja sisäilman lämpötilat ja ilmankosteudet. Mittausten aikana lämpötilat eivät saisi muuttua merkittävästi ja mitattavan rakenteen tulisi olla normaalissa käyttölämpötilassaan (Merikallio 2002). Käytännössä hetkellisillä sisä- ja ulkoilman lämpötiloilla ja ilmankosteuksilla ei ole vaikutusta mittaustuloksiin, sillä sisäosien ja ympäröivien tilojen muutokset tapahtuvat aina eri nopeuksilla (Suonketo 2015).

Rakenteiden lämpötilojen muutokset vaikuttavat merkittävästi mittaustuloksiin. Koska mittausreikien poraaminen lämmittää mittauspisteen ympäristöä, mittausta voidaan suorittaa vasta tarkasti noin 3 vuorokauden kuluttua, kun lämpenemisen aiheuttama kosteuden siirtymispulssi voidaan olettaa olevan tasaantunut. Porauksen aiheuttama lämpeneminen tasaantuu tunneissa, mutta lämmön aiheuttama kosteuden siirtymispulssi tasaantuu hitaammin. Hyvä poranterä vähentää syntyvää ilmiötä verrattuna tylsään terään. Kuntotutkimustarkoituksessa porareikien lämmön tasaantumiseksi riittää yksikin

vuorokausi, jolloin saadaan tarpeeksi tarkka mittaustulos. Viimeisien päivien tasaantumisaika vaikuttaa yleensä mittaustuloksissa vain desimaaleihin (Suonketo 2015). Jos mittaustulos suoritetaan mittauspisteen ollessa normaalia lämpimämpi, saadaan korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja verrattuna arvoihin, jotka ovat mitattu lämmön tasaantuneena. Betonissa suhteellisen kosteuden nouseminen lämpötilan noustessa selittyy huokosten seinämiin kiinnittyneestä vedestä, joka lämpötilan noustessa vapautuu huokosiin. Lämpötilan vaikutus on sitä voimakkaampi, mitä matalammista mittaustuloksista on kyse. Kuntotutkimuskohteissa rakenne on yleensä normaalissa lämpötilassaan.

Kuntotutkimuksissa itse kosteusmittaus voidaan suorittaa 1–7 vuorokauden kuluttua, kun porareikiin laitetaan mitta-anturit (Suonketo 2015). Laitevalmistajien lupaama  $\pm 2\%$  -yksikön tarkkuuteen päästää jo vuorokauden tasaantumisaikalla. Käytännössä ylipitkä tasaantumisaika lisää mittauspisteiden häiriintymisen riskiä käytössä olevissa kohteissa (Suonketo 2015). Mitta-anturien täytyy olla kalibroidut ja lämpötilaltaan mittauspistettä vastaavassa lämpötilassa. Jos anturi on liian kylmä verrattuna mittauspisteeseen, voi siihen kondensoitua kosteutta, jolloin mittaustulokset ovat liian suuret. Vastaavasti liian lämpimän anturin asentaminen laskee suhteellisen kosteuden arvoja. Anturit tulee asentaa nopeasti reikiin ja reiät tukkia uudelleen. Antureiden pitää antaa tasaantua mittaustuloksissa 30 minuutista 12 tuntiin anturin merkistä riippuen (Merikallio 2002). Useat anturien lukulaitteet ilmoittavat, kun anturin lukemat ovat tasaantuneet tarpeeksi luotettavasti. Mittareista kirjataan ylös mittauspisteen lämpötila, suhteellinen kosteus, käytetty anturi, mittauspiste, mittaussyvyys ja mahdollisesti mittarin ilmoittama laskennallinen absoluuttinen kosteus (Koskinen 2014).

Virheitä, mitä porareikämittauksissa voi helposti käydä, ovat muun muassa reikien huono puhdistus, väärä mittaussijainti verrattuna poranreiän tekohetkeen (liian aikaisin tai liian myöhään), anturien ei anneta tasaantua tai mittaputket on huonosti tiivistetty. Anturien puutteellinen kalibrointi tai väärä säilytys aiheuttavat myös virheitä mittaustuloksiin. Talvella mitta-anturien säilyttäminen ja työmaalle kuljettaminen voivat olla haastavaa. Kylmällä säällä autossa mittarit jäähtyvät huomattavasti, joten ne on otettava huoneenlämpöön tasoittumaan ajoissa ennen mittauksia. Anturit eivät saa päästä jäähtymään tai ne voivat hajota. Antureita ei tule säilyttää autossa pitkiä aikoja talvella. Väärin kirjatulla mitta-arvoilla ei tehdä mitään, vaan mittauksen on usein uusittava. On tärkeää kirjata aina käytetty anturi. Mikäli tulokset ovat epäilyttävät, voidaan tietyn anturien toiminta tarkistaa ja toimimattoman anturin tulokset poistaa (Koskinen 2014). Jos antureita ei kirjata ja havaitaan toimimaton anturi, ei voida olla varmoja mitkä mitatuista arvoista ovat lopulta oikeita, joten kaikki mittaukset on tarvittaessa uusittava. Mittaussyvyyden kirjaaminen on myös oleellista johtopäätösten tekemisen kannalta. Porareikien syvyyden mittaaminen täytyy tehdä aina vasta reiän puhdistamisen jälkeen, muuten porauspöly vääristää syvyysarvoa (Koskinen 2014).

Pintakosteusarvoja tutkittaessa muovimattojen alta, voidaan mittaukset suorittaa niin sanotulla viiltomittauksella. Mittauksessa tutkittavalle alueelle tehdään mattoon viilto esimerkiksi mattoveitsellä. Viillon kautta maton alle laitetaan vastaava mitta-anturi kuin porareikämittauksissa. Viiltomittauksissa käytetään kuitenkin yleensä erillistä ohutta ja

jäykkää mittapäättä, jolla mittaus on helpompi suorittaa. Anturin asentamisen jälkeen viilto tiivistetään huolellisesti elastisella massalla (Mal-kitti tai sinitarra). Mittaustulokset voidaan lukea, kun anturi on tasaantunut. Viiltomittauksessa ei ole samaa 3–7 vuorokauden tasaantumisaikaa kuin porareikämittauksissa, sillä rakenteen olosuhteet eivät muutu mittauksen valmistelussa. Viiltomittauksissa tulee anturien kalibrointia seurata tarkasti, sillä useat mattoliimat vaikuttavat anturien toimintaan (Koskinen 2014).

Jos käytännön syistä rakenteeseen ei voida suorittaa suoraa suhteellisen kosteuden mittausta, voidaan rakenteen kosteuspitoisuutta mitata koepalamenettelyllä. Käytännön syitä, jotka voivat estää rakenteesta suoran mittauksen ovat esimerkiksi tulosten nopea tarve, mittausolosuhteet ovat liian epävakait, lämpötilat ovat liian matalat tai korkeat tai tilan käyttö estää pitkäaikaiset mittaukset. (Merikallio 2002)

Koepalamittauksessa tutkittavasta rakenteesta irrotetaan näytepaloja, jotka laitetaan koeputkeen kosteusmittausanturin kanssa. Näytepalat täytyy irrottaa tutkimussyvyydeltä ilman veden käyttöä. Käytännössä palat voidaan irrottaa poraamalla 10 mm terällä tutkimussyvyyteen noin 100 mm halkaisijaltaan oleva piiri, joka irrotetaan taltalla ja moskalla. Tutkimuspinta on nyt paljastettu ja siitä irrotetaan näytepalat taltalla ja moskalla. Tutkimuspinnan paljastamisen voi tehdä myös kuivaporauskuunulla, mutta näytepinta ei saa merkittävästi lämmitä ympäristöön verrattuna. Kuumenemista voidaan seurata esimerkiksi lämpökameralla, jonka avulla nähdään heti pintojen lämpötilajakauma (Koskinen 2014).

Näytepaloja tai murskaa tulee olla siten, että kolmasosa koeputken tilavuudesta täyttyy. Koeputki tiivistetään sopivalla kitillä tai sinitarralla siten, ettei putkeen pääse ilmaa. Kosteusanturien annetaan tasaantua 2–12 tuntia tasaisessa 20 asteen lämpötilassa. Tämä mittaustekniikka on nopeampi kuin porareikämittaus, mutta sen suorittaminen on työläämpää ja rakenteita joudutaan hajottamaan enemmän. (Merikallio 2002)

### 5.5.3 Ilmankosteusmittaukset (RH%)

Rakenteita ympäröivä sisä- ja ulkoilmankosteus ovat merkittäviä rakennuksen toimivuuden kannalta. Ilmankosteus ratkaisee ilman kanssa kosketuksissa olevien materiaalien kuivumis- ja kastumiskäyttäytymisen. Ilmankosteus voi joko kuivattaa tai kastella materiaaleja (Vinha 2011). Ilmankosteus muodostuu ilman lämpötilasta ja siinä olevasta absoluuttisesta kosteudesta. Koska sisäilma muodostuu ulkoilmasta, sen suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa ulkoilman kosteus ja lämpötila, ilmanvaihto, sisäilman lämpötila sekä sisäpuoliset kosteuslähteet. Lämpötila vaikuttaa siihen, kuinka paljon ilmaan voi mahtua absoluuttista kosteutta. Sisäilman suhteellinen kosteus muuttuu hyvin nopeasti, kun tiloissa vaihtelee lämpötila tai kosteuslisä. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Korkea sisäilman suhteellinen kosteus aiheuttaa ongelmia, kun rakennuksen pintojen lämpötilat laskevat niin alhaisiksi, että kosteus pääsee tiivistymään pinnoille tai rakenteisiin. Kosteuden tiivistymistä tapahtuu esimerkiksi ulkovaipan kylmäsilta alueilla tai puutteellisesti eristetyillä kylmillä pinnoilla. Sisäpinnoille tiivistyvä kosteus havaitaan yleensä nopeasti, koska vauriot syntyvät näkyville pinnoille, mutta suurin ongelma on rakennuksen ulkovaipan ilmavuotojen kautta päässyt sisäilman kosteus. Kun kostea



sisäilma pääsee ulkovaipparakenteiden sisälle, se tiivistyy rakennekerrokseen, joka on tarpeeksi kylmä. Yleensä tämä rakenne on eristekerroksen ulkopuoli. Kun rakenteisiin on kertynyt tarpeeksi kosteutta, joka ei ole päässyt kuivumaan syntyy usein hankalasti korjattavia laajoja kosteus- ja homeongelmia, varsinkin puurakenteissa ja muissa orgaanisissa materiaaleissa. (Vinha 2011)

Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa sisätiloissa ihmisen tuntemaan sisäilman laatuun. Liian matala suhteellinen kosteus kuivattaa limakalvoja ja lisää staattista sähköä tiloissa. Vastaavasti liian korkea suhteellinen kosteus muuttaa lämpötilan tuntemusta tukalammaksi, kun iholta ei pääse haihtumaan kosteutta yhtä tehokkaasti kuin kuivemassa ilmassa. Korkea sisäilman kosteus mahdollistaa myös useampien mikrobien tehokkaamman kasvun. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina (%) eli kuinka paljon ilman kyvystä sitoa kosteutta on käytetty. Esimerkiksi sisäilman lämpötila on 20 °C ja RH% on 50, tarkoittaa tämä että 20 °C asteinen ilman kyky sitoa kosteutta on 17,28 g/m<sup>3</sup> ja siitä on puolet käytetty eli sisäilmassa on kosteutta 8,64 g/m<sup>3</sup>.

Ilmankosteutta on mitattu useilla menetelmillä historian aikana, joista käytössä on oikeastaan enää sähköinen kapasitiivinen mittaussuunnitelma. Käytettyjä mittaussuunnitelmia ovat olleet:

- kapasitiivinen mittaus, joka perustuu kapasitanssin muuttumiseen, kun vesimolekyylit imeytyvät ohueen polymeerikalvoon. Tämä on käytännössä ainoa käytössä oleva mittaussuunnitelma (Vaisala 2013).
- resistiivinen mittaus, joka perustuu vastuksen arvojen muuttumiseen kosteuden mukaan.
- hiuskosteusmittaus, joka perustuu orgaanisen materiaalin, kuten hiuksen venymiseen riippuen ilmankosteudesta. Hiuskosteusmittarit ovat yleensä kiinteitä ja vanhoja. Niitä käytettiin joskus tilojen ilmankosteuden seurantaan esimerkiksi arkistoissa (Ilmatieteen laitos 2014c).
- psykrometrimittaus, joka tutkii kosteuden aiheuttamaa jäähtymistä. Mittarissa on kaksi lämpötila anturia, joista toinen on päällystetty kostealla kankaalla. Kosteaan kankaaseen puhalletaan ilmaa, jolloin ilmankosteus lasketaan kuivan ja kostean mittarin lämpötilan erotuksen perusteella (Finna 2014).

Lähes kaikki rakennusalaalla käytössä olevista ilmankosteusmittareista ovat kapasitiivisiä, niiden tarkkuuden, kehittyneen tekniikan ja koon takia. Kapasitiiviset mittarit ovat yleensä pieniä ja ilmankosteuden lisäksi samalla mittarilla saadaan mitattua myös ilman lämpötila.

Ilman kosteuden mittaamiseen tarvitaan ainoastaan kalibroitu ilmankosteusmittari, joka on luotettava. Mittari voi olla manuaalisesti toimiva, jolloin mittaajan täytyy itse käynnistää mittaus. Vastaavasti mittari voi olla loggaava eli tietoja keräävä mittari, johon voidaan etukäteen ohjelmoida mittaussyklit pidemmäksi ajaksi. Mittaukset voidaan suorittaa hetkellisinä, jolloin saadaan mitattua mittaussuunnitelman tilanne tai pitempiä aikavälinä otantana, jolloin saadaan laajempi käsitys ilmankosteuden vaihteluista kohteessa. Suositeltavaa on tehdä pitempiä aikaisia loggaus -mittauksia, joissa kerätään mittaussuunnitelmaa

arvoja esimerkiksi viikon ajan 5-15 min välein. Tällöin saadaan tietää miten kohteen ilmankosteuden arvot vaihtelevat eri vuorokauden aikoina ja eri päivinä. Ennen mittauksen aloittamista on tärkeää suunnitella, mitä on tarkoitus tutkia; sisäilman laatua, jota käyttäjät havaitsevat vai ilmankosteuden vaikutusta rakenteisiin. Kun tutkitaan sisäilman laatua käyttäjille, ilmankosteusmittaukset tulee suorittaa oleskeluvyöhykkeeltä. Oleskeluvyöhyke on määritetty rajoittuvan 1,8 m korkeuteen lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 m etäisyydellä seinistä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Kun tulkitaan ilman kosteuden tuloksia käyttäjien kannalta, kiinnitetään eniten huomiota ihmisen kokemiin vaikutuksiin, kuten limakalvoja rasittavaan liian kuivaan sisäilmaan. Kun ilmankosteusmittauksella on tarkoitus tutkia rakenteiden toimivuutta sijoitetaan mittarit lähelle tutkittavia rakenteita, tällöin havainnoinnissa keskitytään rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Ilmankosteuksia mitattaessa on aina muistettava, että ilmankosteusarvot voivat muuttua merkittävästi hyvin nopeassa ajassa, joka tarkoittaa, että mitä lyhyempi on mittausaika sitä enemmän tietoa ja kokemusta mittaustulosten arviointi vaatii (Fränti 2014).

Koska sisäilma muodostuu ulkoilmasta, tulisi aina sisäilman suhteellista kosteutta mitattaessa mitata myös samaan aikaan ulkoilman vastaavat arvot. Kun sisäilman ja ulkoilman pitempiaikaisia seurantamittausten arvoja vertaillaan, saadaan määritettyä myös sisäilman kosteuslisä. Kosteuslisän suuruudesta voidaan päätellä onko rakennuksen kosteuslisä normaali käyttötarkoitukseen verrattuna vai onko rakennuksessa mahdollisesti liian korkea kosteuslisä, joka voi indikoida esimerkiksi huonosta ilmanvaihdosta tai vääristä asumistottumuksista. Sisäilman kosteuslisää tuottavat esimerkiksi ihmiset, siivousvedet, peseytymisvedet, laite- ja putkistovuodot, rakennekosteudet, huonekasvit, akvaariot, ruuanlaitto, pyykin kuivattaminen ja muu toiminta veden kanssa rakennuksen sisällä (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Kosteuslisä sisäilmassa vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Kesällä kosteuslisä on pienimmillään ja talvella se on suurimmillaan. Kosteuslisä voidaan määrittää laskennallisesti tai mittaamalla (Vinha 2011). Standardissa SFS-EN ISO 13788 on esitetty, että pientaloissa, joissa on vähän asukkaita, kosteuslisä on talvella ( $-5\text{ °C}$ ) noin  $4\text{--}5\text{ g/m}^3$ . Kesällä ( $15\text{ °C}$ ) vastaava kosteuslisä on noin  $1\text{--}2\text{ g/m}^3$ . Laskennoissa käytetään yleensä vakiokosteuslisää, joka on  $1\text{--}5\text{ g/m}^3$  asuintaloissa. Laskennassa on hyvä käyttää hieman korkeampaa kosteuslisää kuin matalampaa eli  $5\text{ g/m}^3$  on yleensä hyvä mitoitusarvo (Vinha 2011).

Sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitearvot ovat S1-luokassa talvella 25–45 %. Ilmankosteus voi lyhytaikaisesti laskea alle tavoite arvojen. Liiallinen sisäilman kostuminen ei yleensä ole Suomessa ongelma. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

## 5.6 Rakenneavaukset

Rakenneavaukset ovat rakennukseen tehtäviä rakenteiden pintoja rikkovia tarkastuksia, käytännössä aukkoja tai reikiä. Tarkoituksena on päästä näkemään rakenteiden sisäpuolelle, havainnoimaan mahdollisia vaurioita ja ottamaan materiaalinäytteitä. Rakenneavauksia voidaan tehdä lähes kaikille rakenteille. Erikoistilat, kuten suuria paineita

kestävät väestönsuojat tai vesitiiviit rakenteet vaativat erikoissuunnittelua rakenneavauksen toteutukseen, jotta avauksilla ei heikennetä rakenteiden toimivuutta. (Fränti 2014)

Rakenneavausten tekeminen aloitetaan tutkimussuunnitelman ja riskirakenneanalyysin pohjalta. On tärkeää, että avaukset saadaan kohdistettua oikeisiin paikkoihin, eikä koko rakennusta tarvitse rei'ittää. Rakenneavauksia pitää kuitenkin tehdä tarpeeksi suuri määrä, jotta rakenteiden toteutuksesta ja vaurioitumisesta päästään tarpeeksi hyvään käsitykseen. Rakenneavauksia tehdään alueille, joilta halutaan varmistaa esimerkiksi toteutetun rakenteen vastaaminen suunnitelmiin. Usein toteutettu rakenne saattaa poiketa suunnitelmista, jos rakennusvaiheessa on keksitty nopeampi, helpompi tai halvempi tapa toteuttaa rakenne. Suunnitelmien vastaiset rakenteet voivat aiheuttaa ongelmia, jos ne käyttäytyvät eritavalla fyysikaalisesti kuin suunnitelmien rakenteet. Jos riskirakenneanalyysissä on havaittu rakenteita, jotka ovat herkkiä vaurioitumiselle, rakenneavauksilla päästään havainnoimaan, missä tilassa rakenteet tutkimushetkellä ovat. Materiaalien mikrobinäytteenotto rakenteista vaatii usein rakenteiden avaamista (Koskinen 2014).

Käytännössä rakenneavaukset voidaan suorittaa useilla eri tavoilla riippuen rakenteesta, materiaaleista ja avauksen tarkoituksesta. Esimerkiksi betonisiin maanvastaisiin laattoihin voidaan tehdä suurella (>100 mm) timanttiporalla reikä, josta päästään tarkastelemaan laatan ja sen alapuolisia rakenteita. Timanttiporauksissa joudutaan käyttämään vettä. Riippuen timanttiporaukseen käytetyn veden määrästä ja poraajan ammattitaidosta mikrobinäytteenotto luotettavasti ei välttämättä onnistu, jos näytteenottopinta pääsee kastumaan tai häiriintymään. Puu- ja levyrakenteisiin, kuten seiniin ja kattoon tehdään usein avauksia rasiaporanterällä, puukkosahalla, sirkkelillä tai muilla vastaavilla puun-työstötyökaluilla. Tehtävien rakenneavauksien on oltava tarpeeksi isoja, jotta halutut toimenpiteet ja havainnot saadaan tehtyä. Usein avaukset ovat kokoluokkaa 100 cm x 100 cm (Fränti 2014).

Rakenneavauspaikkoja valittaessa tulee huomioida mahdolliset putkistot ja sähköjohdot. Kaikkia putkia tai sähköjohtoja ei ole välttämättä merkitty piirustuksiin, joten avauksia tehdessä tulee aina olla varovainen niiden suhteen. Ennen avauksen tekemistä on hyvä käyttää metalli- ja sähköilmaisinta, jotka varoittavat jos pinnan alla on metallia tai sähköjohtoja. Ilmaisimen laadusta riippuu kuinka tarkasta tai syvältä ne pystyvät tekemään havaintoja. Ennen avausten tekemistä on hyvä käydä läpi varasuunnitelmat jos vahingossa osutaan vesiputkeen tai sähköjohtoon. Esimerkiksi vesiputkeen osuttaessa tulee veden tulo estää sulkemalla vesisulut putkistossa ja tämä vaatii usein huoltomiestä isoissa kohteissa. Jos on epäily pinnan alla menevistä tekniikoista, on hyvä ottaa huoltomies mukaan rakenneavauksiin, jotta mahdollisen vahingon sattuessa seuraukset saadaan nopeasti minimoitua. Suurissa kohteissa ennen rakenneavauksia huoltomiehiä on aina hyvä informoida tehtävistä rakenneavauksista ja niiden toteuttamista (Koskinen 2014).

Rakenneavauksia suunnitellessa ja tehdessä on tärkeää muistaa avausten korjaaminen ja peittäminen. Korjatun rakenteen on vastattava alkuperäistä kestävyydeltään ja muilta ominaisuuksiltaan, joista tärkeimmät ovat eristävyys ja tiiviys. Pahimmillaan huonosti korjatut rakenneavaukset aiheuttavat tai pahentavat sisäilmaongelmaa tilassa.

Työtä suorittaessa täytyy huomioida tarvittavat henkilökohtaiset suojaimet ja ympäristön suojaaminen epäpuhtauksilta. Jos epäpuhtauksien leviämisestä ei voida olla varmoja tai sitä ei voida kunnolla hallita, täytyy tila usein osastoida ja tarvittaessa alipaineistaa. Tutkittavien tilojen palohälyttimien toiminta tulee selvittää, sillä savuilmaisimet laukeavat helposti esimerkiksi betonipölystä.

Käytännössä sisäilmatutkijalla ei ole aina käytettävissä tarvittavaa osaamista tai kalustoa kaikkien rakenneavausten suorittamiseen. Tällaisessa tilanteessa tutkijan on hyvä kääntyä tilaajan puoleen ja sopia tarvittaessa hänen kanssaan yhteistyössä ulkopuolisen urakoitsijan käyttämisestä suorittamaan rakenneavauksia. Usein tämä menettely säästää tutkijan aikaa, jota voidaan käyttää muiden tilojen tai asioiden tutkimiseen. Rakenneavauksiin perehtyneillä urakoitsijoilla on yleensä hyvä kokemus ja kalusto, joten avaukset sujuvat nopeasti ja siististi. Urakoitsijan valinnassa on hyvä suosia tekijöitä, jotka ovat aikaisemmin olleet tekemässä tutkimustarkoituksiin tehdyissä rakenneavauksissa. Tärkeää on, ettei rakenneavaaja itse omalla toiminnallaan tai avaustekniikallaan pilaa otettavia näytteitä. Urakoitsijalle tulee kertoa selvästi halutut toimintatavat ja menettelyt. Hyvä tapa on kieltää avauksen tekijää koskemasta tai penkomasta avausta sen tekemisen jälkeen, tällä tavalla voidaan estää esimerkiksi käsistä mikrobien leviäminen rakenteisiin. Kun tutkija pääsee ensimmäisenä tekemään aistinvaraiset havainnot ja rakenne selvitykset, saadaan kaikki mahdollinen tieto kerättyä. Urakoitsijaa tilattaessa on hyvä ottaa toimija, joka pystyy myös paikkaamaan ja korjaamaan tehdyt avaukset. Höyrynsulku rakenteita rikkovissa avauksissa on tärkeää saada höyrynsulkukerros teipattua hyvällä höyrynsulkuteipillä takaisin tiiviiksi. Sama korjaus idea pätee kaikkiin rakenteisiin, jos eristetilasta otetaan eristettä pois (näytteisiin) tulee ne korvata tarkoituksenmukaisella materiaalilla, etteivät rakenteen ominaisuudet heikkene.

Yleisiä paikkoja, joihin rakenneavauksia tehdään ovat alapohjat, seinän alaosat (puurakenteissa alajuoksut), seinän yläosat, ikkunoiden viereiset ja alapuoliset rakenteet, yläpohjarakenteet ja märkätiloja ympäröivät rakenteet. Jokaisella avauksella pitää olla tarkoitus miksi se tehdään ja mitä ollaan tutkimassa. Riskirakenneanalyysi ja mikrobivaurioepäilyt ohjaavat paljon rakenneavausten kohdentamista (Fränti 2014).

## 5.7 Mikrobitutkimukset

Mikrobien määrää mitataan pitoisuuksina massassa, pinta-alassa tai tilavuudessa. Mitayksiköt ovat cfu/g, cfu/cm<sup>2</sup> tai cfu/m<sup>3</sup>. Mikrobeista ei käytetä yksikkö kpl vaan cfu (colony forming unit), joka tarkoittaa pesäkkeen muodostavaa yksikköä. Näissä lukemissa näkyy vain elävät ja pesäkkeen muodostavat yksilöt, ei kuolleita tai toimintakyvyttömiä yksilöitä. (Turun yliopisto 2014a)

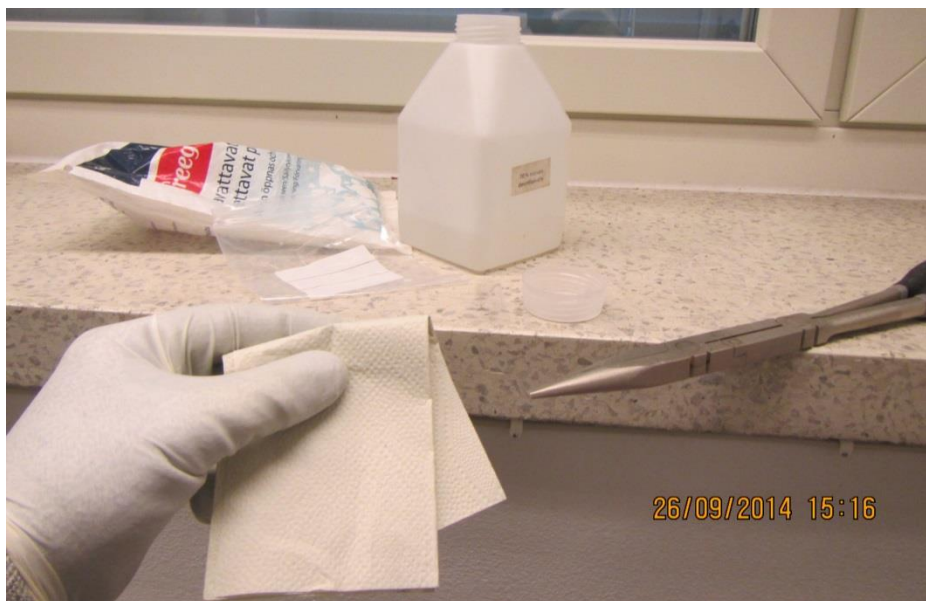
Mikrobipitoisuuksia tutkitaan näytteitä tarkastelemalla. Materiaalinäytettä, pintanäytettä ja ilmanäytettä voidaan käyttää virallisesti terveydensuojelulain tarkoittamaan terveyshaitan toteutukseen (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Jokaiselle edellä mainituista näytteentutkimusmenetelmälle on asetettu vaatimukset Asumisterveysohje 2003:ssa. Mikrobeita voidaan tutkia myös muilla menetelmillä muun muassa mikrobien DNA:han

perustuvalla PCR-tutkimuksella. PCR-tutkimusten tulokset eivät ole suoraan verrannollisia viljelyllä saataviin tuloksiin, joten niiden tulkinta vaatii omaa tietoutta. PCR-tulokset huomioivat myös kuolleet ja toimintakyvyttömät yksilöt, joten viljelytuloksilla saadusta puhtaasta näytteestä voidaan PCR-tekniikalla saada jopa korkeita mikrobipitoisuuksia. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Mikrobituloksia tulkittaessa ratkaisevia asioita ovat kokonaisbakteeripitoisuus, tunnistetut kosteusvaurioindikaattori bakteerit ja niiden osuus bakteerienmäärästä näytteessä. Vaurioitumisen merkkejä ovat kohonneet kokonaisbakteerimäärät tai havaitut kosteusvaurioindikaattori lajikkeet. Kosteusvauriota indikoivat mikrobilajikkeet on listattu esimerkiksi Asumisterveysoppaan (2009) 3. korjattu painos sivulla 172. Osa kosteusvaurioindikaattori mikrobeista tuottavat ihmisille haitallisia myrkkyjä eli toksiineja (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Tuloksia tulkittaessa tulee huomioida aina mikrobien sijainti rakenteissa eli kuinka helposti ne voivat päästä sisäilmaan aiheuttamaan ongelmia ja kuinka laaja mikrobivaurio on kyseessä (Putus 2014). Yhteistyöllä lääkärin ja terveysviranomaisten kanssa sisäilmatutkija voi analysoida kohteen asumisturvallisuutta käyttäjien terveyden kannalta (Fränti 2014).

### 5.7.1 Materiaalimikrobinäytteet ja niiden toteuttaminen

Materiaalimikrobinäytteenotto tulee silloin kyseeseen, kun mikrobiepäily on materiaallissa, joka on huokoista tai helposti irrotettavaa. Materiaalinäytettä varten irrotetaan noin 10 cm \* 10 cm alueelta tarvittava määrä näytettä. Tarvittava määrä on huokoisilla aineilla noin 2–3 dl ja muilla noin 3–10 g materiaalia. Mikrobit kasvavat materiaalien pinnoilla, joten irrotettava näyte tulisi olla pintakerroksesta tai enintään 0,5 cm syvyydeltä (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Näytteeseen pyritään keräämään vain rakenteen vaurioitunutta osaa. Näytteen ottamiseen tarvitaan suojahanskat, desinfiointiainetta, näytteenottoväline (esimerkiksi pihdit, puukko, sakset tai pinsetit) ja keräyspussi tai astia (Talvitie 2013). Lisäksi on hyvä olla muistiinpanovälineet ja kamera dokumentointia varten. Kuva 2 on esitelty perus näytteenottotarvikkeet. Näytteiden ottaminen vaatii usein rakenneavauksen tekemistä, jotta vaurioituneisiin materiaaleihin päästään käsiksi. Rakenneavauksista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.6 rakenneavaukset. Kun tutkittava materiaali on löydetty, alkaa näytteenottaminen. Kaikki tarvittavat välineet on hyvä ottaa esille ja suunnitella niiden käyttö ennen toimenpidettä, jotta näytteenottaminen sujuisi mahdollisimman puhtaasti ja nopeasti. Mitä enemmän, näytteenottorakennetta työstetään, sitä herkemmin näytteeseen voi tulla epäpuhtauksia ympäristöstä, kuten tutkijasta ja työvälineistä. Näytettä ottaessa tulee varoa myös, ettei siitä leviä epäpuhtauksia tilaan (Koskinen 2014).



*Kuva 2. Mikrobinäytteenottoa varten ovat valmiina suojahanskat, näytteenottopihdit, näytepussi ja desinfiointivälineet.*

Kun tiedetään miten näyte otetaan, tulee tutkijan suojata ensin omat kätensä kumisilla suojahanskoilla, jotka ovat puhtaat. Hanskat tulee desinfioida vielä ennen käyttöä. Jos käytetään samoja hanskoja useamman kerran, tulee huolehtia, että hanskat desinfioidaan näytteidenottojen välissä (Koskinen 2014). Seuraavaksi näytteidenottovälineet desinfioidaan ja kuivataan huolellisesti. Kaikki desinfiointityö on hyvä suorittaa vähintään 70 % etanolia sisältävällä aineella (Koskinen 2014). Kun tarvittava määrä näytettä on saatu irrotettua rakenteista, laitetaan se kuljetuspussiin tai purkkiin, joka on puhdas ja ilmatii-vis. Näytepussina toimivat esimerkiksi pienet minigrip-pussit. Jos näytteeseen joudutaan koskemaan, tehdään se mahdollisimman vähillä koskettelumäärillä ja näytettä kosketaan vain reunasta (Talvitie 2013). Kun näyte on kerätty onnistuneesti, merkitään näytteen tiedot muistiin ja merkitään näytepussi. Näytteenotto ja kaikki havainnot dokumentoidaan kirjoittamalla ja kuvaamalla. Tutkimuslomakkeeseen kirjataan seuraavat asiat: näytetunnus, kohdetiedot, näytteenottaja, näytteenotto päivämäärä ja kellonaika, haluttu analyysi, näytteen materiaali, näytteenotto kohta ja tilatunniste (Talvitie 2013). Kun toimenpiteet on suoritettu, putsataan näytteenottovälineet ja siirrytään ottamaan seuraavaa näytettä. Mikrobinäytteet tulisi toimittaa laboratorioon 24 tunnin aikana (Talvitie 2013). Kuljettaminen ja säilöminen on hyvä tehdä kylmälaukussa, jossa pyritään pitämään lämpötila +4–+8 asteen välillä. Jos näytettä ei pystytä toimittamaan 24 tunnin sisällä laboratorioon, tulee se säilyttää +4–+8 asteen lämpötilassa. Jos näytteen toimitaminen viivästyy merkittävästi, niiden luotettavuus laskee (Talvitie 2013).

### **5.7.2 Raja-arvot ja niiden tulkinta materiaalmikrobinäytteissä**

Kaikissa materiaaleissa esiintyy normaalitilanteissa mikrobeja, joten niitä on myös kaikissa materiaalinäytteissäkin (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Viljelymenetelmien havaintorajat vaihtelevat yleensä 45 cfu/g ja 150 cfu/g välillä. Pienin havaintoraja on

aina ilmoitettu laboratorion tutkimustuloksissa (Turun yliopisto 2014a). Vaurioituneessa rakenteessa voidaan katsoa esiintyvän sienikasvustoa, kun näytteen sieni-itiöpitoisuus ylittää 10 000 cfu/g pitoisuuden, tai kun aktinomykeettipitoisuus ylittää 500 cfu/g rajan. Materiaalin kokonaisbakteeripitoisuuden ylittäessä 100 000 cfu/g rajan, viittaa se bakteerikasvuun materiaalissa. 10 000 cfu/g sieni-itiöpitoisuus osoittaa, että materiaalissa esiintyy sienikasvustoa, mikrobikontaminaatiota tai kuivuneita kasvustoja. (Turun yliopisto 2014a)

Jos tutkimuksissa käytetään vertailunäytettä ja aktinomykeettipitoisuus on tutkittavassa näytteessä 10 kertaa suurempi kuin vertailunäytteessä, tutkittava näyte voidaan katsoa sisältävän aktinomykeettikasvustoa. Jos materiaalinäytteen sieni-itiöpitoisuus arvot ovat vähintään 100 kertaa suuremmat kuin vertailunäytteen arvot, voidaan näytteessä katsoa sisältävän sienikasvustoa. (Turun yliopisto 2014a; Ympäristö ja Terveyslehti 2009)

Materiaalinäytteiden tulkinnassa pitää ottaa huomioon mistä rakenteista näyte on otettu. Ulkoilman kanssa tekemisissä olevien rakenteiden kuten esimerkiksi tuuletetuissa eristetiloissa ja alapohjarakenteissa esiintyy lähes aina kasvustoa. Tulkinnassa on tärkeää arvioida voiko mikrobit päästä sisäilmaan kyseisessä tutkimuskohteessa eli tuotavatko ne mahdollisesti haittaa käyttäjille vai pysyvätkö ne rakenteiden sisällä (Koskinen 2014). Ulkoseinän eristetiloista todettujen mikrobien pääsyä sisätilaan voidaan arvioida esimerkiksi ulkovaipan tiiviysmittauksilla ja vuotoreittien selvityksillä. Näistä menetelmistä kerrotaan lisää luvussa 5.19 Rakennuksen vaipan ilmapuodot. Mikrobipitoisuuksia tulkittaessa pitää muistaa kiinnittää huomiota pesäkepitoisuuksien lisäksi tunnistettuihin lajikkeisiin (Putus 2014). Normaalista poikkeavat lajike-esiintymät kertovat usein rakenteiden vaurioitumisesta (Ympäristö ja Terveyslehti 2009).

### 5.7.3 Mikrobipintanäytteet ja niiden toteuttaminen

Mikrobipintanäytetutkimus voidaan suorittaa kolmella tavalla, jotka ovat näytteenotto laimennusviljelyä varten, näytteenotto suoraviljelyä varten ja suora mikroskopiointi teippinäytteestä. Vain laimennusviljely on virallinen Asumisterveysohjeen (2003) mukainen menetelmä. Laimennusviljelyllä saadaan tulokseksi suoraan cfu/cm<sup>2</sup> pitoisuudet, suoraviljelyssä tulokset ilmoitetaan - ja + merkeillä riippuen kuinka paljon kasvustoa on. Suoramikroskopiinnilla saadaan sanallinen kuvaus havainnoista (Talvitie 2013).

Laimennusviljelytutkimuksen näytteenottoon tarvitaan mittakehys, steriilejä pumpulipuikkoja, 5 ml suolaliuosputkia, desinfiointiainetta ja sakset (Talvitie 2013). Näytteet otetaan kovalta pinnalta ja jokaiselle näytteelle tehdään lisäksi vertailunäyte oletetulta puhtaalta alueelta. Jos vaurioalue on iso, tulee samasta kohtaa ottaa useampi näyte. Tutkimukset aloitetaan valitsemalla tutkittavat alueet ja niiden vertailualueet. Näytteiden ottaminen aloitetaan puhtaimmasta alueesta eli vertailunäytteistä. Viimeisenä otetaan näytteet likaisimmista tai vaurioituneimmista alueista, näin vähennetään riskiä näytteiden toisistaan kontaminoitumisesta (Talvitie 2013). Näytteenottokehys desinfioidaan ja kuivataan huolellisesti. Tämän jälkeen kehys asetetaan tutkittavalle pinnalle ja yksi pumpulipuikko kastetaan suolaliuokseen, jota on koeputkessa 5 ml (suolaliuoksen val-

mistusohje löytyy Asumisterveysoppaasta 2009). Kastetulla puikolla sivellään kolmeen kertaan mittakehyksen alue läpi kolmeen eri suuntaan. Pumpulipuikon kaikkia syrjiä tulee käyttää sivelyssä. Kun sively on tehty, katkaistaan pumpulipuikon vanupää suoluosputkeen (5 ml) ja putki suljetaan. Näytteenotosta ja näytteestä tehdään samat merkinnät ja muistiinpanot kuin materiaalinäytettä ottaessa. (Talvitie 2013)

Suoraviljelyn näytteenotto poikkeaa laimennusviljelynäytteenotosta siten, että suoluosta on 1 ml putkessa ja sively suoritetaan kahdella pumpulipuikolla samanaikaisesti. Suorassa viljelyssä ei tarvitse ottaa vertailunäytettä. Laimennus- ja suoranviljelyn näytteet tulee säilyttää viileässä ja toimittaa mahdollisimman pian laboratorioon. Pintanäytteiden tuloksissa pitää muistaa, että näyte edustaa vain pinnan vaurioita, joten pinnan alla olevia vaurioita ei voida tulkita suoraan tulosten perusteella. Pintanäytteillä voidaan arvioida pinnan alta pinnalle pääseviä pitoisuuksia. (Talvitie 2013)

Suoramikroskopointia voidaan käyttää silloin, kun halutaan ottaa näyte kovilta pinnoilta, joita ei haluta rikkoa. Menetelmää ei voida suoraan yksinään käyttää terveydensuojelulain tarkoittaman terveyshaitan toteamiseen (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Mikroskopoiduista näytteistä voidaan todeta myös kuolleet sienet tai lahottajasienien rihmastoa toisin kuin viljelymenetelmillä. Tutkimusmenetelmällä voidaan havaita sienikasvustot eli rihmastot, itiöt ja niitä tuottavat rakenteet. Menetelmää ei voi käyttää bakteerikasvuston havaitsemiseen (Talvitie 2013). Mikroskopoinnin etuna on sen nopea suorittaminen, sillä tulokset voidaan saada jo samana päivänä. Toinen hyvä puoli on sen edullisuus verrattuna viljelymenetelmiin. Pintanäytetutkimus voidaan toteuttaa siten, että näytteeseen suoritetaan mikroskopointi, jonka jälkeen vasta tarvittaessa suoritetaan viljelytutkimus. Mikroskopointinäytteenottoon tarvitaan kirkasta noin 2 cm leveää teippiä, kaksipuolista teippiä ja tyhjä petrimalja tai pakasterasia. Kaikkien välineiden tulee olla puhtaita. Tutkimus aloitetaan liimalla maljan tai purkin pohjalla kaksi palaa kaksipuolista teippiä astian laidoille noin 4 cm toisistaan. Läpinäkyvästä teipistä leikataan noin 5 cm pitkä pala, siten ettei sen keskiosaan kosketa. Teippiä pidetään molemmista päistä kiinni ja keskiosa painetaan näytteenottokohtaan. Teippi irrotetaan varovasti näytteenottopinnasta ja käännetään näytepuoli ylöspäin, jonka jälkeen se laitetaan purkin pohjalle, jossa on valmiiksi teipit, joihin näyteteipin päät laitetaan. Näytteenotto toistetaan 2–4 kertaa samalta näytealueelta, jotta näytteenotto varmasti onnistuu ja saadaan vertailunäytteitä. Lopuksi rasia tai malja suljetaan kannella ja varmistetaan teippaamalla. Näytteenotosta ja näytteestä tehdään samat merkinnät ja muistiinpanot kuin materiaalinäytteestä. Lopuksi näytteet lähetetään laboratorioon. Teippinäytettä ei tarvitse säilyttää viileässä, eikä sillä ole kiire päästä laboratorioon näytteen tulosten kannalta. (Talvitie 2013)

#### **5.7.4 Raja-arvot ja niiden tulkinta mikrobipintanäytteissä**

Rakennusten sisäpinnoilla ja rakenteissa on aina jonkin verran mikrobeja, joten puhtaista vertailupintojen näytteistä on normaalia löytää mikrobipitoisuuksia. Tämän takia vertailunäytteitä otetaan myös vaurioitumattomilta alueilta (Talvitie 2013). Kuivien ja vau-



rioitumattomien pintojen sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä alle 10 cfu/cm<sup>2</sup> (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

Näytteiden mikrobipitoisuuksille ei ole asetettu selviä raja-arvoja vaan tulkinta perustuu vertailunäytteiden tulosten vertailuun. Mikäli vauriokohdasta otetun näytteen aktinomykeettipitoisuudet ovat yli 10 kertaa suurempia kuin vertailukohdan näytteen, voidaan vauriokohdassa katsoa esiintyvän aktinomykeettikasvustoa. Kun vauriokohdan näytteen sieni-itiöpitoisuus on yli 1000 cfu/cm<sup>2</sup> ja vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailunäytteen pitoisuudet, voidaan vauriokohdassa arvioida olevan sienikasvustoa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Pitoisuudet saattavat olla pieniä, mikäli mikrobit ovat kuivuneet ja osittain kuolleet, tässä tilanteessa epätavanomainen kasvusto saattaa viitata vaurioon.

### 5.7.5 Mikrobi-ilmanäyte ja sen toteuttaminen

Mikrobi-ilmanäytteen ottaminen on järkevää tilanteissa, joissa rakenteista ei ole löydetty mikrobipitoisia materiaaleja, mutta silti käyttäjät oireilevat tai tilassa on havaittavissa homeen hajua. Jos tilasta on jo löydetty selvä mikrobilähde, josta mikrobeilla on pääsy sisäilmaan, ei ilmanäytettä välttämättä kannata ottaa. (Talvitie 2013)

Ilman mikrobipitoisuudet voivat vaihdella voimakkaasti ja nopeasti esimerkiksi tiloissa tehtyjen eri toimintojen seurauksena, joten ilmanäytteiden tulkinnassa tulee olla varovainen ja osa havainnoista on hyvä varmistaa uusintamittauksilla (Koskinen 2014). Ilmanäytteitä on suositeltavaa ottaa 2–3 kappaletta viikon välein, jotta voidaan varmistua oikeista mikrobimääristä ja niiden kannoista (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Käytännössä näytteitä harvoin otetaan kolme kappaletta samasta tilasta niiden kalliin hinnan takia (Fränti 2014). Matalat ilmanäytetulokset eivät pois sulje home- tai lahovauriota rakennuksessa (Talvitie 2013).

Näytteenotto suoritetaan 6-vaiheimpaktiokerääjällä (Andersen-keräin) tai vastaavalla keräimellä. Menetelmä on Sosiaali- ja terveysministeriön ohjeen (2003) mukainen ja tulokset ilmoitetaan muodossa cfu/m<sup>3</sup>. Sulanmaan aikana sisäilmanäytteen lisäksi täytyy ottaa ulkoilman vertailunäyte. Kun ulkona maa on sula, on ilmassa paljon luonnollisia mikrobeja, jotka kulkeutuvat myös sisäilmaan vaikeuttaen näytteiden tulosten tulkintaa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Ulkoilman vertailutuloksia verratessa sisäilman näytteisiin saadaan tietää suunnilleen, mitkä mikrobeista kuuluvat näytteisiin ulkoilman perusteella ja mitkä ovat tulleet rakennuksesta itsestään.

Ilmanäytteen ottamiseen liittyy paljon virhelähteitä, jotka pitää ottaa huomioon näytteitä kerätettäessä. Toimenpiteitä, jotka voivat vaikuttaa vuorokauden ajan mittaustuloksiin ovat: ikkunatuuletus, siivous (lakaisu, imurointi), ulkona kuivatun pyykin käsittely, multaisten juuresten, ruuan ja biojätteiden käsittely, polttopuiden käsittely, navetta-, talli-, ja remonttivaatteiden vaihto, kompostorin sekoitus, maakellarissa, talousrakennuksessa tai puuvarastossa käynti. Toimenpiteitä, jotka vaikuttavat useiden vuorokausien ajan näytteiden tuloksiin ovat: kukkamultien vaihtaminen ja voimakkaasti homehtuneen materiaalin käsittely. Kosteusvaurioituneiden materiaalien purku- tai korjaustyöt

vaikuttavat mittaustuloksiin useita kuukausia. Lemmikkieläimet, kuten koirat, kissat ja akvaariot voivat olla myös mikrobilähteitä. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Ilmanäytteet kerätään elatusmaljoille, joita ovat M2 tai MA (2 % mallasuuteagar), DG-18 (dikloraani-18 % -glyseroliagar) ja THG (tryptoni-hiivauuteglukoosiagar). M2 maljalla tutkitaan mesofiilisiä lajeja, kuten hiiva- ja homesieniä ja basidiomykeettejä (sisältää myös lahottajia). DG-18 maljalla tutkitaan kuivahkoissa oloissa pärjääviä kserofiilisiä sieniä. THG maljalla tutkitaan bakteereja, kuten aktinomykeettejä eli sädesieniä. On suositeltavaa käyttää kaikkia maljoja, jollei erikseen tiedetä, ettei tietyn tyyppistä maljaa tarvita (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). *Kuva 3* on näytekannun kasaaminen ja putsaaminen puolessa välissä menossa.

Ilmanäytteen ottamiseen tarvitaan välinekokonaisuus, joka sisältää: (Talvitie 2013)

- 6-vaiheimpaktorin, joka tunnetaan nimellä keräinosa tai -kannu,
- kalibroidun ilmapumpun, joka sisältää tarvikkeet ja letkut. Suomessa käytetty ilmanvirtausnopeus on 28,3 litraa sekunnissa,
- elatusalustasarjat, kutakin tutkittavaa tilaa varten. Yksi sarja sisältää kuusi maljaa. Jos kerätään kaikilla kolmella elatusalustalla, yhdestä näytteestä kertyy yhteensä 18 maljaa,
- kylmälaukun maljojen eli näytteiden säilyttämiseen ja kuljettamiseen. Maljat eivät saa koskaan päästä jäätymään edes kuljetusten aikana,
- desinfiointiainetta, joka on vähintään 70 % etanolia. Esimerkiksi suihkepulloa on kätevä käyttää,
- talouspaperia, jotta näytteiden käsittelypiste voidaan suojata likaisilta pinta-kosketuksilta,
- nukkaamatonta paperia tai vastaavaa, jolla voidaan pyyhkiä keräinosa desinfiointiaineella,
- maalarinteippiä, jolla näytteet merkitään ja pakataan kuljetusta varten,
- permanenttitussi maljojen numerointia varten
- ajanottoväline mittausaikojen selvittämiseen ja
- näytteenottolomake sekä muut muistiinpanovälineet.



*Kuva 3. Puolet näyttekannun desinfioinnista ja kasaamisesta on tehty.*

Ennen ilmanäytteen ottamista on tärkeää lämmittää näytteenottopumppua vähintään 20 minuuttia, jotta pumpun lämpötiloista ja käynnistä johtuvat ilmapirtaukset tasaantuvat (Koskinen 2014). Näytteenottopaikka valmistellaan desinfioimalla tarkoitukseen sopiva taso ja levittämällä tasolle puhtaat talouspaperit. Toimenpiteitä suorittaessa tulee käyttää kumikäsineitä, jotka desinfioidaan myös jokaisen näytteenoton välillä tai mahdollisen likaisen pinnan kosketuksen jälkeen. Keräin desinfioidaan huolellisesti ja kuivataan nukkaamattomalla paperilla. Näytemaljat avataan ja kannet asetetaan pöydälle kansi alaspäin järjestykseen. Maljat asetetaan keräimeen varovasti koskematta uutteisiin tai maljojen kansien sisäpuolille. Kun keräin on valmis, se viedään tutkittavaan tilaan 0,7–1,5 m korkeuteen lattiasta, keskelle huonetta. Pumppu kiinnitetään keräimeen ja aloitetaan ilman imeminen keräimen läpi. Heti käynnistämisen jälkeen on tärkeää tarkistaa, kulkeeko ilma varmasti keräimen läpi, kokeilemalla ilmapirtausta keräimen suulla. Pumpun virtausnopeus ja näytteenottoon käytetty aika kirjataan näytteenottolomakkeeseen. Kun näytteen otto aika on kulunut (yleensä 10 minuuttia), keräin puretaan varovasti oikeassa järjestyksessä ja jokaiseen maljaan kirjataan näytetunnus ja numero. Näytesarja teipataan yhteen ja tarvittavat tiedot kirjataan näytelomakkeeseen. Keräys toistetaan kaikille tutkittaville sarjoille. Lopuksi kaikki kolme sarjaa on merkitty ja pakattu takaisin kylmälaukuun odottamaan muiden tilojen näytteitä. Näytteet tulee säilyttää viileässä ja toimittaa laboratorioon 24 tunnin kuluessa. Yksityiskohtaisemmat näytteen suorittamisohjeet toimitetaan usein laboratorion toimesta näytemaljojen ja tarvikkeiden mukana. (Talvitie 2013)

### **5.7.6 Raja-arvot ja niiden tulkinta mikrobi-ilmanäytteissä**

Ilmanäytteille ei voida asettaa selviä raja-arvoja, koska ilman mikrobien pitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti ja nopeasti (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Rakennuksessa

voi olla home- tai lahovaurio vaikka sisäilmanäyte olisi puhdas. Asumisterveysohjeen tulkintaperusteet on suunniteltu asuinrakennuksille, joten niitä ei saa suoraan soveltaa suuriin rakennuksiin, kuten laitoksiin, kouluihin tai päiväkoteihin. Suurissa kohteissa pitoisuudet ovat usein pienempiä kuin asuinrakennuksissa tehokkaampien ilmanvaihtojen takia (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Yksittäisessä näytteessä havaitun kohonneen pitoisuuden perusteella voidaan epäillä kosteusvauriota, jos muut ilmaan mikrobeja tuottavat virhelähteet voidaan sulkea pois (Turun yliopisto 2014b). Ilmanäytteen perusteella voidaan saada tietoa minkä tyyppisiä mikrobeita sisäilmassa on ja jos ne ovat normaalista poikkeavia tai kosteusvauriota indikoivia ryhmiä voidaan tehdä johtopäätöksiä jatkotutkimusten kannalta. Laboratorio antaa yleensä oman sanallisen tulkintaversion tuloksista lähtötietojen ja tutkimustulosten perusteella, mutta lopullinen tulosten tekninen tulkinta jää yleensä sisäilmatutkijalle tai tutkimusryhmälle. Tulosten vaikutusta käyttäjien terveyteen arvio aina terveystilanomaisen (Fränti 2014).

Kaikkien mikrobinäytteenottojen yhteydessä tulee huolehtia henkilökohtaisesta suojautumisesta. Tutkijan täytyy tunnistaa tilanteet, jolloin näytteidenotto vaatii suojavuvun, hengityssuojaimien tai muiden suojavälineiden käyttöä. Usein näytteitä otetaan käytössä olevista tiloista, jolloin pieni hetkellinen altistuminen ei välttämättä ole vaarallista, mutta kun näytteitä kerätään esimerkiksi voimakkaasti vaurioituneilta alueilta tai likaisista ryömintätiloista tulisi käyttää suojavarusteita. Kun kuljetaan ahtaissa tiloissa tai joudutaan käsittelemään vaurioituneita materiaaleja mikrobit tarttuvat helposti vaatteisiin ja likaavat myös muita paikkoja, kuten auton, johon tutkija menee työpäivän jälkeen. (Koskinen 2014; Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

## 5.8 PAH-mittaukset

PAH-pitoisuuksia voidaan mitata materiaalinäytteistä, ilmanäytteistä tai tarvittaessa ihmisistä. Kuntotutkimuksissa PAH-aineita mitataan yleensä materiaalinäytteiden perusteella esimerkiksi vanhoista vedeneristeistä tai muista materiaaleista, joiden epäillään sisältävän PAH-yhdisteitä. Ilmanäytteillä voidaan määrittää altistumista PAH-yhdisteille ja seurata esimerkiksi korjaustoimenpiteiden vaikutusta. (Työterveyslaitos 2014a)

PAH-aineiden näytteenotto tapahtuu irrottamalla pala tutkittavasta materiaalista esimerkiksi puhtaalla puukolla. Irrotettu näyte tulee pakata puhtaaseen näytepussiin, joihin toimii esimerkiksi pienet minigrip-pussit. *Kuva 4* on näytteenottoa vedeneristekerroksesta, joka on porattu irti alapohjalaatasta. Näyte merkitään tarkkaan ja kirjataan ylös näytteenottopaikka, -materiaali, -aika ja näytteenottaja. Kun tarvittavat näytteet on kerätty, toimitetaan ne laboratorioon analysoitaviksi. Näytteenoton välissä tulee huolehtia, että näytteenottovälineet putsataan tarkasti, etteivät eri näytteiden materiaalit pääse sekoittumaan ja sotkemaan tuloksia. (Koskinen 2014)



*Kuva 4. Puhtaalla puukolla on hyvä irrottaa PAH-näyte tutkittavasta vedeneristekerroksesta.*

Ilmanäytteet kerätään erillisellä ilmakeräimellä, joka imee ilmaa näytteenottosuodattimen läpi. Työterveyslaitos käyttää esimerkiksi keräimenä lasikuitusuodatinta, joka on halkaisijaltaan 37 mm (Työterveyslaitos 2014a). Virtausnopeus näytteenotossa on 1–20 l/min ja mitattava ilmamäärä vaihtelee 100–10000 litran välillä. 100 litran kokoisella näytteellä päästään 0,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tarkkuuteen ja 1000–10000 litran kokoisella näytteellä päästään 0,001  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tarkkuuksiin. Kun näyte on kerätty, keräin suljetaan ja toimitetaan laboratorioon analysoitavaksi. (Työterveyslaitos 2012)

Osalle PAH-yhdisteistä on annettu ohjearvoja, mutta ne koskevat pääasiassa teollisuutta, joissa esiintyy useammin PAH-yhdisteitä. STM (sosiaali- ja terveysministeriö) on vahvistanut työpaikan haitallisiksi pitoisuuksiksi (http-arvoiksi, 8h) naftaleenille 5000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja bentso(a)pyreenille 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Työterveyslaitos on asettanut tavoitearvot työpaikoille, joihin työpaikoilla tulisi pyrkiä, bentso(a)pyreenille <0,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (koksaa-mot) ja <0,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (muut työpaikat). Naftaleenille on asetettu tavoitearvoksi 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (kreosoottikyllästämöt ja kyllästetyn puutavaran käsittely) ja 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sisäilma (edellyttää myös, ettei hajua esiinny). Muille PAH-yhdisteille ei ole asetettu http-arvoja tai tavoitetasoja. (Työterveyslaitos 2014a; Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

## 5.9 VOC-mittaukset

VOC:it muodostavat tärkeimmän osan sisäilman kemiallisista aineista, joita käyttäjät havaitsevat huonona sisäilman laatuina. Sisäilmassa on paljon erilaisia kemiallisia yhdisteitä, ettei kaikkia voida mitata ja tämä on VOC-tutkimusten heikoin kohta (Fränti 2014).

Suomessa yleisesti käytetty VOC:ien mittaamenetelmä on Tenaxadsorbenttimenetelmä, jossa näyteputken läpi imetään tietty määrä ilmaa. Tenax-mittaus aloitetaan valitsemalla tutkittava tila ja varmistumalla, ettei tilassa ole selviä yksittäisiä VOC-lähteitä. Näyteputki avataan laboratorion ohjeiden mukaisesti ja asennetaan kiinni ilmapumppuun. Kuva 5 on Tenax-näyteputki, jonka toinen pää on kierretty auki. Ilmapumppu pitää olla kalibroitu ja virtaava ilmamäärä tunnettu. Keräin asetetaan keskelle tutkittavaa tilaa oleskeluvyöhykkeelle ja ilmapumppu käynnistetään. Ennen mittauksia tilassa oleilua tulee välttää, eikä mittausten aika saa oleilla keräimen läheisyydessä. Kun näyte on kerätty, putki suljetaan ja merkitään laboratorion ohjeiden mukaisesti (WSP Finland Oy 2014). Näytteenotosta tulee kirjata kaikki tarvittavat tiedot muistiin, jotta tuloksia voidaan tulkita myöhemmin. Tenax-mittauksissa toimitetaan mukana referenssi näyteputki, joka kulkee muiden näytteidenotto-putkien mukana, mutta sitä ei koskaan käytetä tai avata (WSP Finland Oy 2014). Referenssiputki tutkitaan muiden näytteiden tavoin laboratoriossa ja sen tulos toimii referenssiarvona muille näytteille. Kaikkia putkia on tärkeää kuljettaa ja säilyttää samassa tavalla, jotta mahdolliset ympäristön aiheuttamat virheet ovat samat kaikissa näytteissä ja ne saadaan arvioitua referenssinäytteen avulla (WSP Finland Oy 2014).



**Kuva 5.** Tenax-putki, jonka uralla merkattu pää on kierretty auki. Alumiininen korkki on passiivikeräyseen tarkoitettu pölysuodatin. Putkia tulee käsitellä puhtaiden suojahanskojen kanssa.

Haihtuvia kemiallisia yhdisteitä voidaan mitata myös suoraan tutkittavien materiaalien pinnoilta. Suomessa käytetyt menetelmät ovat absorptio-putki, FLEC-mittaus (Field and Laboratory Emission Cell), kupu- ja viiltomittaus sekä materiaalinäytteiden tutkiminen (Valvira 2011). Eri mittaamenetelmien tuloksia ei voida verrata suoraan keskenään (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Mittauksia vaikeuttavat yksittäisten päästöjen kestoajat, jotka vaihtelevat usein voimakkaasti ja tämä vaikeuttaa tulosten ja tutkimusten tulkintaa. Esimerkiksi ilmanvaihdon on suuri merkitys VOC-pitoisuuksiin. Sisäil-

man VOC-pitoisuusmittausmenetelmille on olemassa standardi ISO 16 000-6 (Valvira 2011). Rakennuksesta VOC:ja tutkittaessa täytyy huomioda, että tiloissa on usein muitakin VOC-lähteitä kuin rakennusmateriaalit. Useat muut lähteet ovat jopa voimakkaampia lähteitä kuin itse rakennusmateriaalit. Muita mahdollisia VOC-lähteitä ovat tupakointi, ihmiset, eläimet, puhdistusaineet, kalusteet, kodinkoneet ja sanomalehdet (Valvira 2011).

VOC:eilla ei ole tarkkoja raja-arvoja, mutta kokonaisvokkipitoisuudelle TVOC (total-VOC) asumisterveysohje 2009 antaa raja-arvoksi  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kun tämä arvo ylittyy, voidaan tilassa olettaa olevan liikaa VOC:ja ja niiden lähde on selvitettävä. Tavanomainen TVOC-määrä asunnoissa on  $200\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  välillä (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Sisäilmaluokitus asettaa TVOC:eille pitoisuusrajat eri luokkiin. Sisäilmastoluokka S1:n raja-arvo on  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sisäilmastoluokka S2:n raja-arvo on  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sisäilmastoluokka S3:n raja-arvo on  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Sisäilmayhdistys 2014a). Koska eri VOC-aineet ovat terveysvaikutuksiltaan erilaisia, ei mittauksissa tulisi keskittyä pelkästi TVOC:in suuruuteen vaan huomioda myös yksittäisten aineiden pitoisuudet (Sisäilmayhdistys 2014a). Jos yksittäisen aineen pitoisuus on yli 10 % näytteen kokonaispitoisuudesta, on yksittäinen aine merkittävässä osassa päästöjä. Mikäli kokonaisnäytteen pitoisuus TVOC on alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ei yksittäisillä ainepitoisuuksilla ole suurta merkitystä (Valvira 2011).

VOC-tutkimuksia voidaan tehdä siten, että etsitään vain tiettyä VOC-yhdistettä. Tällaiset tutkimukset tulevat kyseeseen jos epäillään tietyn aineen olemassaoloa tutkittavissa tiloissa. Erillisiä etsittäviä yhdisteitä ovat muun muassa aldehydit ja styreeni.

### 5.9.1 Aldehydit

Aldehydimittaus tehdään usein tarkoitukseen sopivalla passiivikeräimellä (Tenax-putki), joka sijoitetaan tutkittavaan huoneeseen vuorokauden ajaksi, jonka jälkeen se toimitetaan laboratorioon tutkittavaksi. *Kuva 6* passiivinäytteenotto on menossa ja keräin roikkuu kattokiinnikkeestä tutkittavassa tilassa. Toinen aldehydien tutkimusmenetelmä on nestekromatografia (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Näyte kerätään pumppulla dinitrofenyylihydratsiinilla päällystettyyn silikagaalipatruunaan. Näytteen keräysnopeus on 0,5 litraa minuutissa ja näytteen koko on noin 100 litraa. Näytteestä voidaan analysoida formaldehydin lisäksi muiden aldehydien pitoisuuksia.





**Kuva 6.** Tenax-passiivikeräin roikkumassa tutkittavassa tilassa. Keräin on muuten sama kuin aktiivi Tenax-putki menetelmässä, mutta ainoastaan putken toinen pää avataan ja korkki korvataan pölysuojalla.

Aldehydien raja-arvoihin pitää soveltaa havaittujen aineiden yksittäisiä määriä. Formaldehydin hajukynnys vaihtelee 35–70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  välillä. Ärsytysoireita se aiheuttaa noin 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Sisäilmayhdistys 2014a)

### 5.9.2 Styreeni

Styreeniä voidaan mitata samalla menetelmällä kuin muita VOC:ja eli Tenax-putkimenetelmällä. Styreeniä voidaan myös kerätä ilmapumpun avulla aktiivihiihiputkeen 0,1–0,2 l/min keräysnopeudella 100–200 litraa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Aktiivihiihiputki analysoidaan laboratoriossa kaasukromatografisesti. Toteamisraja 200 litran näytteelle on 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sisäilman styreenipitoisuus saa olla enintään 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Normaalisti styreenin pitoisuus sisäilmassa on hyvin pieni, jopa alle 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Valvira 2014c).

## 5.10 Radon-mittaukset ( $^{222}\text{Rn}$ )

Radonmittauksissa käytetään mittayksikkö Bq/ $\text{m}^3$ . Bq (Becquerel) on SI-järjestelmän mukainen säteilyn aktiivisuuden yksikkö (Suomen standardisoimisliitto 2001). Becquerel kertoo kuinka monta atomia hajoaa sekunnissa, tämä kuvaa radioaktiivisen aineen aktiivisuuden.

Kaikki radonin mittaamenetelmät perustuvat radonin ja sen hajoamistuotteiden radioaktiivisten emissioiden mittaamiseen. Menetelmät jaetaan reaaliaikaisiin tietoa ke-



rääviin mittauksiin ja passiivisiin mittauksiin, joilla mitataan pitkän ajan keskiarvoja (Siren 2014). Radon mittaustulokset ilmoitetaan vuoden keskiarvona, koska radonpitoisuus sisäilmassa vaihtelee paljon vuodenajan mukaan. Talvella radonpitoisuudet voivat olla moninkertaisia kesäaikaan verrattuna. Radonia voidaan mitata useammalla menetelmällä, mutta virallisia oikeuskelpoisten mittausten tulee olla tehty STUK:esin hyväksymällä menetelmällä (STUK 2014b).

Yksi tapa mitata asunnon radonpitoisuus on pitää passiivikeräintä yhtäjaksoisesti vuoden ajan tutkittavassa kohteessa. Toinen tapa on mitata passiivikeräimellä kaksi kahden kuukauden yhtäjaksoista mittausta, joiden perusteella arvioidaan koko vuoden keskiarvo. Radon mittaukset tulee ajoittaa marraskuun ja huhtikuun välille (STUK 2014b). Usein mittaukset suoritetaan kahdella keräimellä, joista toinen sijoitetaan alimpaan oleskelukerrokseen ja toinen mahdolliseen yläkertaan. Radonpitoisuus lasketaan eri keräimien keskiarvosta. Pienemmät kohteet voidaan tehdä yhdellä keräimellä. Suuremmat kohteet vaativat vastaavasti useamman keräimen. Mittauksen suorittamisessa on tärkeintä keräinpurkkien oikea sijoittelu ja säilöminen kuljetusten ajaksi. Mittauspurkki poistetaan tiiviistä kuljetus- tai säilytyspussista ja sijoitetaan reikä puoli ylöspäin mittausta paikalleen. Mittausaika on yleensä 2–12 kk. Kun mittausaika on kulunut, purkki laitetaan takaisin tiiviiseen pussiin ja postitetaan tutkivaan laboratorioon. Passiivikeräimen tilauksen yhteydessä sen mukana toimitetaan tarkat toimintaohjeet. (STUK 2014b)

Passiivikeräimessä on reikiä, joiden kautta alfahiukkaset kulkeutuvat ja osuvat purkin sisällä olevaan ohueen filmiin. Alfahiukkasten jättämät törmäysjäljet saadaan näkyville laboratoriossa etsaamalla. Etsatun filmin törmäysjäljet lasketaan ja niiden perusteella ilmoitetaan ilman radonpitoisuus. (Siren 2014)

Jatkuvatoimiset reaaliaikaiset mittarit toimivat puolijohteiden avulla, joista resistiivisyyden avulla lasketaan erilaisia alfahiukkasten muodostamia jännitteitä puolijohteisiin (Siren 2014). Reaaliaikaisilla mittareilla voidaan mitata hetkellisiä radonarvoja tai kerätä mittaustietoa pidemmältä ajalta. Nopeimmilla mittalaitteilla saadaan mittaustietoa jo muutaman tunnin mittausjaksolla. Jatkuvatoimiset mittarit sopivat parhaiten radonin toteamiseen kohteissa. Jatkuvatoimisten mittareiden tulokset eivät yleensä poikkea paljoa virallisten integroivien mittareiden tuloksista, mutta niitä ei silti voida käyttää virallisissa radonmittauksissa (Siren 2014). Lyhyt aikaisiin mittauksiin sisältyy myös se riski, ettei kohdetta mitata silloin, kun radonpitoisuus on korkealla ja saadaan siten liian matalia tuloksia.

Radonin mittaustuloksiin vaikuttavat mittausta paikan lämpötila, kosteus, ilmanpaine, sähkömagneettiset kentät, ilmavirtaukset, pöly, tupakansavu, mittaajan aiheuttama mittalaitteen liikuttelu, mittalaitteen stabiilisuus ja herkkyys, mittausaika sekä käytetty mittaustapa (Siren 2014). Mittausjaksot ovat passiivikeräimillä niin pitkiä, etteivät pienet virhelähteet yleensä vaikuta merkittävästi lopputuloksiin.

Säteilylain (592/1991) 48§:n nojalla sosiaali- ja terveysministeriö on määritellyt asuntojen huoneilman sisältämän radonin raja-arvot (STMp 944/1992). Raja-arvot perustuvat arvioon radonin terveysvaikutuksista ja niillä on tarkoitus rajoittaa radonista aiheutuvia terveydellisiä haittavaikutuksia. Päätöksen (STMp 944/1992) 2§ mukaan

asunnon huoneilman radonpitoisuus ei tulisi ylittää  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Seuraavaksi voimaan tulevan EU-neuvosto direktiivin 2013/59/EURATOM mukaan sisäilman aktiivisuuspitoisuus laskee  $400 \text{ Bq/m}^3$ :stä  $300 \text{ Bq/m}^3$ :iin (2013/59/EURATOM). Raja-arvot ovat vuosikeskiarvoja, jotka ovat mitattu yhtäjaksoisesti vuoden ajalta tai mittausten perusteella laskettu vuoden keskiarvo (2013/59/EURATOM).

## 5.11 Otsoni-mittaukset

Otsonia voidaan mitata sisäilmasta reaaliajassa esimerkiksi lämmitetyillä metallioksidipuolijohteilla (Norketek Oy 2014). Mittarit ovat pääasiassa pienikokoisia kiinteästi asennettavia tai mukana kuljetettavia taskukokoisia mittareita. Usein mittareissa on varoitustoiminto, joka hälyttää kun raja-arvot ylittyvät.

Otsonille ei ole asetettu terveysperusteisia raja-arvoja. Suomessa haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP-arvo) on määritetty  $0,05 \text{ ppm}$  kahdeksan tunnin altistumisajanjaksoa kohti (Työterveyslaitos 2014b). Jo  $160 \mu\text{g/m}^3$  pitoisuudet voivat aiheuttaa keuhkoissa muutoksia pitempiäaikaisissa altistuksissa (Ilmatieteen laitos 2014b).

## 5.12 Hiilidioksidin mittaus $\text{CO}_2$

Hiilidioksidipitoisuutta suositellaan mitattavaksi jatkuvatoimisilla rekisteröivillä mittalaitteilla (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Mittalaitteet perustuvat yleensä infrapunasäteilyn absorptioon tai sähkökemialliseen kennoon (Vaisala 2013). Hetkellisiä hiilidioksidipitoisuuksia voidaan myös mitata ilmaisinputkilla, jotka värjäytyvät, kun niiden läpi imetään tietty määrä ilmaa. Ilmaisinputkia ei käytetä juurikaan sisäilmatutkimuksissa, mutta menetelmä on mahdollinen (Fränti 2014). Mittalaitteiden kalibroinnista on huolehdittava ja lisäksi sähkökemiallisten laitteiden kennot on uusittava muutaman vuoden välein (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

Yleisimmin käytetty menetelmä on infrapunatekniikka, koska se on stabiili ja hyvin selektiivinen mitattaville kaasuille (Vaisala 2013). Infrapunamittalaitteilla on pitkä käyttöikä, koska niiden anturit eivät ole suoraan vuorovaikutuksessa kaasujen kanssa, lisäksi infrapuna-anturit kestävät hyvin korkeita kosteuspitoisuuksia, pölyä, likaa ja muita vaativia olosuhteita (Vaisala 2013).

Useimpien hiilidioksidikaasuantureiden ulostulosignaali on verrannollinen mitattavan kaasun molekyylitiheyteen. Ilman katsotaan käyttäytyvän ideaalikaasun tavoin, joten infrapuna hiilidioksidimittauksissa tulee huomioida paineen ja lämpötilan vaikutus mittaustuloksiin, koska molemmat vaikuttavat kaasun molekyylitiheyteen. Paineen kasvassa vakio lämpötilassa infrapuna-anturi havaitsee enemmän hiilidioksidimolekyylejä. Vastaavasti, kun lämpötila nousee vakio paineessa, infrapuna-anturi havaitsee vähemmän hiilidioksidimolekyylejä (Vaisala 2013). Lämpötilan ja paineen vaikutusta mittaustuloksiin voidaan kompensoida kaavalla (1).

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}\text{C}, 1013\text{hPa}) * \frac{p}{1013} * \frac{298}{(273+t)} \quad (1)$$

$\rho$  = kaasun (tilavuus) pitoisuus [ppm tai %]

$p$  = paine [hPa]

$t$  = lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Mittalaitteet on usein kalibroitu vastaamaan merenpinnan paineolosuhteita, jotka ovat 1013 hPa. Mitattaessa hiilidioksidipitoisuuksia muulla kuin merenpinnan tasolla paineen vaikutusta tuloksiin on hyvä kompensoida (Vaisala 2013). Kompensointi voidaan tehdä osassa mittareita syöttämällä paineolosuhdetiedot mittariin tai ohjelmistoon. Jos mittarissa ei ole lämpötilan mittausta ja automaattista kompensointia, täytyy kompensointi tehdä manuaalisesti (Vaisala 2013). Kuva 7 on esitelty ilmanpaineen vaikutus mitattavaan hiilidioksidipitoisuuteen. Erittäin suuret määrät ilmankosteutta vaikuttavat myös hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen infrapunamenetelmällä, koska vesihöyryssä vesimolekyylit syrjäyttävät osan muista kaasuseoksen molekyyleistä. Erittäin kosteissa ympäristöissä ilmankosteuden laimennusvaikutusta voidaan arvioida, kun tunnetaan kuivan ja kostean kaasun olosuhdetiedot (Vaisala 2013).

Lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )											
Paine (hPa)		-20	-10	0	10	20	25	30	40	50	60
	700	814	783	754	728	703	691	680	658	638	618
	800	930	895	862	832	803	790	777	752	729	707
	900	1046	1007	970	936	904	888	874	846	820	795
	1000	1163	1119	1078	1039	1004	987	971	940	911	883
	1013	1178	1133	1092	1053	1017	1000	983	952	923	895
	1100	1279	1230	1185	1143	1104	1086	1068	1034	1002	972
	1200	1395	1342	1293	1247	1205	1185	1165	1128	1093	1060
	1300	1512	1454	1401	1351	1305	1283	1262	1222	1184	1148

**Kuva 7.** Ilmanpaineen vaikutus hiilidioksidianturin ppm-lukemaan kun mitattava pitoisuus on 1000 ppm (lähde: Vaisala 2013)

Hiilidioksidimittauksen ajankohta ja mittausjakso tulee suunnitella sen mukaan mitä ollaan tutkimassa. Jos tutkitaan esimerkiksi suurien luontosalien ilmanvaihdon riittävyyttä, kun sali on täynnä, riittää hetkellisen piikkiarvon mittaaminen luonnon loppupäässä. Yleensä mittauksien tarkoituksena on selvittää kokonaisuudessaan ilmanvaihdon toimivuutta ja riittävyyttä eri tiloissa eri vuorokaudenaikoina, jolloin seurantamittaukset ovat ehdoton valinta. Sopiva seurantajakso on 1–2 viikkoa riippuen kohteesta ja sen käytöstä. Mittaus kannattaa ajoittaa normaalin käytön aikaan, jolloin saadaan käyttöä vastaavat tulokset. Esimerkiksi kesäaikaan ei kannata mitata koulurakennuksia, kun ne ovat tyhjiä, eikä tilanne vastaa normaalikäyttöä. Mittaustulosten keräysväli tulee olla tarpeeksi tiheä, jotta voidaan seurata mahdollisimman tarkasti eri tapahtumien vaikutusta tilan hiilidioksidipitoisuuksiin. 5–15 min välein tiedon kerääminen on sopiva 1–2 viikon mittauksissa (Fränti 2014). Mittauksia on tärkeä tehdä myös yö ja viikonloppu

aikaan, jolloin saadaan tietoa ilmanvaihdon tehokkuudesta myös käyttöajan ulkopuolella (Koskinen 2014).

Hiilidioksidimittarin mittausta paikan valitseminen on tärkeää tulosten oikeellisuuden kannalta. Anturi tulee laittaa paikkaan, jossa ihmisten hengitysilma ei kohdistu suoraan mittariin (Vaisala 2013). Anturia ei tule myöskään sijoittaa liian lähelle ilmanvaihdon tulo- tai poistokanavia, eikä liian lähelle ikkunoita tai ovia. Seinään asennettavat mittarit antavat tarkempaa tietoa ilmanvaihdon toimivuudesta kuin IV-kanaviin asennettavat anturit. Kanavaan asennettavat anturit sopivat lähinnä osaksi automaattista säätöjärjestelmää, jolla hallitaan suuria alueita (Vaisala 2013).

Hiilidioksidimittauksilla osoitetaan ilmanvaihdon riittävyyttä, eikä sille ole asetettu erityisiä terveydellisiä ohjearvoja (Valvira 2014b). Ulkoilmassa hiilidioksidia on noin 350 ppm. Ilmanvaihdon hyvänä tasona sisätiloissa pidetään noin 600–900 ppm. 1200 ppm on tyydyttävä taso ja 1500 ppm ylittyessä ilmanvaihtoa on tehostettava (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003; Sisäilmayhdistys 2014a). Sisäilmastoluokka S1:ssä raja-arvo on 700 ppm, S2:ssä 900 ppm ja S3:ssä raja-arvo on 1200 ppm (Sisäilmayhdistys 2014a).

### 5.13 Hiilimonoksidin mittaus CO (Häkä)

Kuntotutkimuksissa hiilimonoksidin eli hään tutkiminen on aiheellista, jos rakennuksen läheisyydessä on vilkas liikenne, josta voi selvästi kulkeutua epäpuhtauksia asuntoon tai jos samassa rakennuksessa on autotalli tai vastaava tila, jossa käytetään moottoreita (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Myös siinä tapauksessa, että ihmiset kokevat hapen puutteen oireita tilassa, eivätkä ne selity muilla mittauksilla voi olla aiheellista tarkistaa hiilimonoksidi arvot.

Hiilimonoksidipitoisuutta mitataan samoilla menetelmillä ja ohjeilla kuin hiilidioksidia. Mittausmenetelmän kuvaus on luvussa 5.12 (Hiilidioksidin mittaus). Hiilimonoksidin mittauksissa ja mittareiden sijoittelussa on kiinnitettävä erityishuomio hiilimonoksidin lähteisiin. Lähteitä sisätiloissa voivat olla väärin toimivat tai käytetyt uunit, takat, kaasuliedet myös tupakointi ja kaikkien polttomoottoreiden päästöt sisältävät mahdollisesti häkää (Valvira 2014b).

Sisäilman hetkellinen häkä pitoisuus saa olla enintään 8 mg/m<sup>3</sup> (6,9 ppm) (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Häkä aiheuttaa oireilua jo pieninä määrinä ja suurina määrinä se on tappava. Suomessa kuolee edelleen vuosittain ihmisiä häkämyrkytykseen (Raken-taja.fi 2014).

### 5.14 Ammoniakin mittaus

Ammoniakkipitoisuutta voidaan mitata keräämällä tunnettu määrä ilmaa laimean rikkihappoliuoksen läpi. Kerätyn näytteen ammoniakkipitoisuus voidaan määrittää useilla tavoilla, joista esimerkkinä nestekromatografinen menetelmä. Nykyään markkinoilta on saatavissa pieniä ja nopeita ammoniakki mittareita, jotka perustuvat esimerkiksi tinaoksidipuolijohdekiteen toimintaan (Sensorex Oy 2014). Ammoniakkimittausten lisäksi on

hyvä suorittaa samalla VOC-mittaukset, sillä ammoniakkin yhteydessä vapautuu usein myös muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

Ammoniakille ei ole olemassa terveysperusteisia raja-arvoja. Sisäilman tavanomaisena ammoniakki pitoisuutena voidaan pitää 10–20 µg/m<sup>3</sup>. Jos sisäilman ammoniakkiarvot ylittävät 40 µg/m<sup>3</sup> voidaan arvoja pitää kohonneina (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

## 5.15 Asbesti-tutkimukset

Sisäilma tutkimuksissa asbestin tutkiminen tulee kyseeseen, jos tiloissa epäillään olevan asbestipitoisia materiaaleja (Työnsuojeluhallinto 2014). Tutkimukset voidaan suorittaa suorilla pöly- tai materiaalinäytteillä taikka pumpulla kerättävillä ilmanäytteillä. Ilmatutkimuksissa ideana on kerätä ilmaa hienoihin suodattimiin, jotka laboratorioissa analysoidaan tehokkailla mikroskoopeilla (Vikström 1993).

Asbestikartoituksessa rakennuksen kaikki tilat käydään läpi aistinvaraisesti ja piirustusten perusteella. Kaikista materiaaleista, joiden epäillään sisältävän asbestia, otetaan materiaalinäyte laboratorio analysointia varten. Näytteeksi riittää pieni neliösentinkin kokoinen mekaanisesti irrotettu näytepala. Näytteen pystyy yleensä ottamaan vasaralla ja taltalla (Koskinen 2014). Näytteiden määrä riippuu täysin rakennuksessa käytetyistä materiaaleista. Suurissa kohteissa näytteitä saattaa olla jopa satoja ja välillä riittää pari näytettä, jos epäiltäviä materiaaleja ei ole useita.

Asbestikartoituksen olennainen osa on määrittää asbestia sisältävien materiaalien lisäksi niiden määrä ja sijainti. Määrä voidaan parhaimmillaan laskea esilläolevista materiaaleista lasermittarin avulla. Haastavinta on määrittää pintojen alla olevien materiaalien määrää. Jos materiaalin määrää ei voida laskea kohteessa, tuleen sen määrä arvioida piirustusten perusteella. (Koskinen 2014)

Yleisesti käytettyjä asbestilaatuja ovat:

- krysotiili (valkoinen asbesti). Käyttökohteita ovat olleet asbestisementit, kitkapinnat ja tiivistet,
  - krokidoliitti (sininen asbesti). Käyttökohteita ovat olleet ruiskueristeet ja haponkestävät eristeet,
  - amosiitti (ruskea asbesti). Sitä on käytetty magnesiumkarbonaatin kanssa putkien ja lämpökattiloiden eristeissä,
  - antofylliitti. Käyttökohteina ovat olleet emäksen ja haponkestävät tuotteet, kuten asbestipahvi, sementti- ja eristemassat ja
  - tremoliitti ja aktinoliitti. Kumpaakaan ei ole käytetty kaupallisesti, mutta näiden pitoisuuksia saattaa esiintyä muiden asbestien tai mineraalien yhteydessä epäpuhtauksina.

Tuotteiden väri ei aina kerro asbestilaadusta tai tuotteesta, koska materiaalit ovat todennäköisesti likaantuneet ajansaatossa ja asbestit sekoittuneet muihin aineisiin (Vikström 1993).

Asbestipitoisuus sisäilmassa pitää olla alle  $0,01$  kuitua/ $\text{cm}^3$  (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Laskeumamittauksissa asbestia ei saa esiintyä. Jos laskeumamittauksissa havaitaan asbestia täytyvät mittaukset uusia tehokkaammilla tai laajemmilla mittauksilla (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

## 5.16 Hiukkasmittaukset (kuidut, pölyt)

Hiukkaspitoisuuksia tutkitaan erilaisilla menetelmillä. Kokonaisleijumaa voidaan arvioida esimerkiksi suodatinimenumetelmällä, jossa imetään selluloosa-asettaattisuodattimelle tai muulle tarkoitukseen sopivalle suodattimelle ilman hiukkasia. Suodattimen paino mitataan, ennen ja jälkeen näytteenoton, jolloin saadaan tietää kerättyjen hiukkasten paino. Kerätty ilmamäärät ovat useita kuutioita, jotta hiukkasten painoa voidaan punnita luotettavasti. Imukeräykset voivat kestää 24 tuntiakin, jotta saadaan kerättyä tarpeellinen määrä ilmaa. Työpaikkojen pölyisyyden mittaamiseen on oma standardi SFS 3860 ja  $\text{PM}_{10}$ hiukkasten mittaamiseen on oma standardi EN12341. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Pinnoille laskeutuvia hiukkasia, kuten kuituja, voidaan mitata ja tutkia laskeumanäytteillä. Laskeumanäyte voidaan ottaa imuroimalla tutkittava alue ja punnitsemalla kerätyn alueen hiukkaset. Toinen ja enemmän käytetty tapa on tehdä laskeumamittaus näytealustalle. Näytealustana toimii esimerkiksi lasialusta, joka on voideltu vaseliinilla. Pölyn annetaan laskeutua näytealustalle seitsemän vuorokauden ajan, jonka jälkeen kuidut lasketaan optisella vaihesiirtomikroskoopilla. Tulokset ilmoitetaan kuitujen määränä pinta-alayksikköä ja aikaa kohden (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Näytealustana voi toimia myös puhdas petrimalja, joka asetetaan näytteenotto kohtaan. Kun haluttu laskeuma-aika on kulunut petrimaljan pohjaan, johon pöly on laskeutunut, liimataan laboratorion geeliteippi. Geeliteippi sitoo laskeumanäytteen paikoilleen ja näyte voidaan kuljettaa laboratorioon (Fränti 2014). Usein sisäilmatutkija suorittaa laskeumamittausten tekemisen, mutta näytteet lähetetään laboratorioon heidän ohjeidensa mukaisesti analysoitaviksi (Fränti 2014).

Mineraalivilloista, jotka ovat pääasiassa vuori- ja lasivilla voi vapautua sisäilmaan kuituja. Esimerkki kuitulähteitä ovat lämmöneristeet, akustiikkalevyt ja ilmanvaihdon eristetyt osat. Mineraalivillan vanhetessa villan sideaineena käytetty hartsi hajoaa ja eriste alkaa pölyä (Koskinen 2014).

Asumisterveysopas 2009 kertoo sisäilman hiukkaspitoisuuksille ohjeellisia raja-arvoja. Kokonaisleijuman (TSP) pitoisuus saa olla enintään  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  24 tunnin keskiarvolla  $20^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Hengitettävien hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) raja-arvoksi annetaan  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  24 tunnin keskiarvolla  $20^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Pienhiukkasille ( $\text{PM}_{2.5}$ ) ei ole asetettu raja-arvoja. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

## 5.17 Pilaantuneiden maa-ainesten tutkimukset

Pilaantuneita maa-aineita voidaan tutkia ottamalla epäilyllä maaperästä näyte. Näytteen voi ottaa alapohjan rakenneavauksen yhteydessä tai jos rakennuksen alle on käynti, niin sitä kautta. Näytteenottaminen tapahtuu keräämällä maa-ainesta puhtaaseen purkkiin tai pussiin. Näytteeseen merkitään näytetunnus ja näytteenoton tiedot kirjataan ylös. Kirjattavia tietoja ovat näytteenottopaikka, päivämäärä, kuvaus maa-aineesta ja haluttu tutkimus tai haitta-aineiden määrittäminen. Näyte toimitetaan laboratorioon, joka on erikoistunut pilaantuneiden maa-aineiden analysointiin. (Koskinen 2014)

Maa-aineanalyysissä voidaan tutkia esimerkiksi öljypitoisuutta, alifaanit-aromaatteja, haihtuvia polttoainehiilivetyjä, BTEX-yhdisteitä, bensiinin lisäaineita, etanolia, oksygenaatteja, metallipitoisuuksia, PAH-pitoisuuksia, VOC-pitoisuuksia, vinyyliklorideja, PCB-yhdisteitä ja torjunta-aineita. Jos ei ole tietoa mitä maa-aines mahdollisesti sisältää, mutta on epäily, että maa-aineessa on haitallisia aineita, voidaan tehdä valmiita tutkimussarjoja, joissa käydään suurin osa kaikista mahdollisista haitta-aineista läpi. Tällaisia testejä ovat esimerkiksi TerrAttesT-paketti (Eurofins 2014). TerrAttesT-testien tapaiset seulonta testit ovat hyviä siitä, ettei laajoja lähtötietoja tarvita mahdollisista maan sisältämistä aineista ja yhdisteistä.

Maa-aineanalyysi kannattaa tehdä aina jos tapaa rakennuksen välittömässä läheisyydessä tai alapuolisessa maaperässä epätavallisen näköistä tai hajuista maa-ainesta. Rakennusten alla ja maataytöissä on joskus käytetty esimerkiksi masuunikuonaa ja muita teollisuuden jätteitä, jotka voivat aiheuttaa haitta-aine päästöjä sisäilmaan. Maaperää tutkiessa pitää muistaa, ettei pilaantunut maa-aines ole aina pällimmäisenä kerroksena, vaan se saattaa olla useiden metrien syvyydessä oleva pilaantunut maatayttö tai öljyvahto. Öljyä maan alle voi päästä esimerkiksi vanhojen lämmitysöljysäiliöiden vuodoista. (Fränti 2014)

## 5.18 Paineolosuhdemittaukset

Maapallon ilmassa aiheuttaa maanpinnalle ilmakehän paineen, jonka suuruus riippuu säätiloista ja mittauskorkeudesta. Yleinen ilmakehän paine maanpinnalla on noin 1 Bar eli 100 000 Pa:ia. (Ilmatieteen laitos 2014a)

Rakennusten paine-eromittaukset tarkoittavat yleensä rakennuksen sisäilman ja ulkoilman paine-eron mittaamista. Ulko- ja sisäilman paine-eroista puhuttaessa käytetään yksikkö Pa (pascal), koska paine-erot ovat pieniä. Rakennuksissa yleensä vallitsevat paine-erot liikkuvat välillä 0–50 Pa:ia (Paloniitty 2012). Kokemukseni mukaan uusissa erittäin tiiviissä taloissa, joissa on liesituuletin ja keskuspölynimuri yhtä aikaa päällä, alipaine voi nousta jopa 70 Pa:iin.

Rakennuksen paine-eron ulkoilmaan nähden aiheuttaa kolme eri tekijää, jotka ovat ilmanvaihto, ilman lämpötilaerot (savupiippuilmio) ja tuuli (Sisäilmayhdistys 2014c). Ilmanvaihdolla on suurin vaikutus paineolosuhteisiin ja sitä pystytään yleensä säätämään. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tulokanavien tai -reittien määrä ja asunnon

lämmittäminen takalla vaikuttavat eniten paine-eroihin. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa voidaan säätää poistoilman määrää tai tulokanavien ilmamäärää. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa voidaan säätää tarkasti sekä tuloilman, että poistoilman määriä (Holopainen et al. 2012).

Kun rakennuksesta poistetaan enemmän ilmaan, mitä sinne tuodaan, syntyy rakennukseen alipainetta. Ilman lämpötilaerot luovat tilojen yläosiin luonnostaa hieman ylipainetta kun lämmin ilma fysikaalisesti kevyempänä pyrkii nousemaan ylöspäin. Ilmiön vaikutus korostuu, kun tila on korkea. Kerrostaloissa, joissa rappukäytävä on samaa ilmatilaa, ilmiö on voimakkaimmillaan. Ylimmissä kerrostalon asunnoissa on helposti ylipainetta ja alimmissa asunnoissa on voimakkaasti alipainetta. (Paloniitty 2012)

Tuulella on paine-eroja synnyttävä vaikutus, joka riippuu rakennuksen sijainnista, rakennuksen muodosta, tuulen nopeudesta ja rakennuksen ilmareiteistä. Rakennuksen yli puhaltava tuuli luo osalle rakennuksen ulkovaippaa ylipaineetta ja osalle imuvoimaa eli alipainetta. (Paloniitty 2012)

Rakennukset pyritään pitämään hieman alipaineisena, jotta sisäilman kosteudet eivät ylipaineen avulla pääsisi kulkeutumaan ulkovaipan ilmavuotojen kautta rakenteisiin luoden mahdollisesti kosteusvaurioita (RakMK D2 2012). Tämän hetken tietämyksen ja rakennustavan perusteella rakennuksissa pieni alipaine on turvallisempi ratkaisu kuin ylipaine (Vinha 2011). Alipaineen huonona puolena on, että ulkovaippa rakenteista ime-tään kokoajan ilmaa ja mikäli rakennuksessa on paljon ilmavuotoreittejä, pääsee niiden kautta epäpuhtauksia sisäilmaan. Ongelma syntyy esimerkiksi, kun rakennuksen ulkovaipassa on mikrobivaurioita tai alapohjasta pääsee radonia sisäilmaan (Paloniitty 2012).

Paine-eroja voidaan mitata usealla menetelmällä, mutta sisäilmatutkimuksissa käytetään sähköisiä paine-eromittareita. Muita vaihtoehtoja ovat esimerkiksi nestenanometrit, joissa nesteen avulla tulkitaan paine-eroa tilojen välillä (Sisäilmayhdistys 2014c). Paine-eromittarit perustuvat aina kahden eri paineen luoman voiman mittaamiseen. Mitattavien paineiden suuruudet määräävät millaista mittaria voidaan käyttää (Saxholm, S. & Rantanen, M.. 2011). Rakennuksien paine-eroja mitattaessa täytyy käyttää tarpeeksi tarkkoja ja herkkiä mittalaitteita, koska rakennuksien paine-erot ovat pieniä. Mittalaitteiden tarkkuuden tulisi olla vähintään luokkaa 1 Pa ja lukemat olisi hyvä pystyä lukemaan 0,1 Pa tarkkuudella (Paloniitty 2012).

Paine-eromittaus suoritetaan rakennuksessa hetkellisenä tai pitkäaikaisena. Koska paine-eroihin vaikuttavat tekijät muuttuvat helposti (ilmanvaihto, lämpötilat ja tuuli) kannattaa tutkimuksissa käyttää pitkäaikaisia tietoa kerääviä mittauksia eli loggaavia mittauksia. Usein varsinkin suurissa kohteissa ilmanvaihto on säädetty toimimaan normaalisti toimistotunteina ja muina aikoina säästötilassa tai pahimmillaan kokonaan pois päältä. Sähköiset paine-eromittarit näyttävät mittaustulokset heti ja reaaliaikaisesti, joten mittaustulosten saaminen on nopeaa. Pitkäkestoiset mittaukset on hyvä suorittaa esimerkiksi yhden tai kahden viikon testijaksolla rakennuksen normaalikäytön aikana, jolloin saadaan tietää paineolot yöllä ja viikonlopun aikana. Pitkäkestoisten mittauksen



mittausväliksi voidaan asentaa esimerkiksi 5–60 minuuttia riippuen kuin tarkasti halutaan tietää painevaihtelut (Koskinen 2014).

Itse painemittauksen suorittaminen on helppoa. Mittalaitteesta on kaksi mittauspäätä, joihin voidaan kiinnittää letkut. Letkun toinen pää laitetaan rakennuksen ulkopuolelle (mikäli mitataan paine-eroa ulkovaipan yli) ja toinen pää rakennuksen sisäpuolelle. Letkujen päiden korkeus maanpinnasta tulisi olla mahdollisimman sama, tämän vaikutus korostuu korkeilla rakennuksilla. Paine erot vaihtelet eri korkeuksilla tilassa, joka pitää ottaa huomioon mittauspaikkaa valittaessa. Lattian rajassa voi olla alipainetta, kun taas katon rajassa voi olla ylipainetta. Jos rakennuksen ilmapuodot ovat tasaisesti jakautuneet, olisi paine-ero hyvä olla mitatta neutraaliakselilta, joka on usein rakennuksen tilan korkeuden puolella välissä. (Paloniitty 2012)

Kun paine-eromittauksia suoritetaan, on tärkeää, että rakennuksen ulkovaipalta kaikki reiät (IV-kanavat) ja aukot (ovet ja ikkunat) ovat siinä tilassa missä rakennus on normaalisti käytön aikana. Tämä tarkoittaa, että ulos laitettava letku pitää saada ulkovaipan läpi, siten ettei se vaikuta mittaustuloksiin. Ulos mittaletkun saa esimerkiksi tuloilmakanan säleiköstä, ikkunan tiivisteiden välistä tai tekemällä mittaletkulle oma reikä ikkunakarmiin. Mittaletkujen paksuudet ja materiaalit vaihtelevat valmistajakohtaisesti, mutta yleinen putken halkaisijan koko vaihtelee välillä 1,5–15 mm. Putkien materiaalit ovat yleensä silikonia, uretaania tai kuparia. Kun mittausletkuja vaihtelee, on tärkeää selvittää vaikuttaako se mittaustuloksiin käytettävällä mittarilla (Koskinen 2014). Letkun asentamisessa täytyy muistaa tarkistaa ennen mittauksia, ettei letku ole puristunut lyttyyn. Yleensä helpoin ja siistein tapa suorittaa mittaus on käyttää herkkää mittalaitetta, jolla voi käyttää 1,5 mm pneumatiikka uretaaniletkua, joka ei mene helposti lyttyyn. Tällainen letku asetetaan ikkunalehden tiivisteiden välistä ylä- tai alakulmasta ja ikkuna suljetaan. Toinen vaihtoehto on porata pitkällä, letkun halkaisin kokoisella puuterällä, ikkunakarmiin reikä letkulle ja lopuksi tiivistää reikä letkun ympäriltä esimerkiksi sinitarralla. Tämä toimintatapa jättää rakenteisiin jälkiä ja vaatii paikkaustoimenpiteitä mittauksen jälkeen (Koskinen 2014).

Mittaustuloksia luettaessa täytyy olla tarkkana etumerkin kanssa. Mittalaitte ei tunnista itse onko tilassa yli- vai alipaine vaan se mittaa letkujen välistä paine-eroa sokeasti + ja – napojen välillä. Jos letkut ovat olleet niin päin, että tilassa on alipainetta, mutta mittari näyttää ylipainetta (+ merkkistä tulosta) tuloksen voi korjata suoraan vaihtamalla etumerkkiä. Merkin oikeellisuuden voi tarkistaa puhaltamalla varovasti sisällä olevan letkun päähän ja katsomalla mitä arvoja mittari näyttää. Jos letkut ovat oikeinpäin, puhaltamalla sisäpuolen letkun päähän, ylipaineen pitää kasvaa ja mittarin pitää näyttää plusmerkkisiä lukemia tai ainakin alkutilannetta vähemmän negatiivisia lukemia (Koskinen 2014).

Mittaustulosten tulkintaan ei ole olemassa raja-arvoja, mutta tärkeintä on ymmärtää paineen merkitys rakennuksen kokonaisuudelle. Merkittävin raja-arvo on 0 Pa eli onko mitattavassa tilassa ali- vai ylipaine, loput arvot ovat vain tietoa paine-eron suuruudesta. Tämän hetken ohje alipaineen suuruuteen on lievä alipaine, mutta maksimissaan -30 Pa (RakMK D2 2012). Lieväksi sopivaksi alipaineeksi voidaan tulkita noin -1 - -4 Pa. Yli

90 Pa paine-erot voivat jo rikkoa rakenteita ja liitoksia (Paloniitty 2012). 90 Pa alipaine tarkoittaa käytännössä 9 kg vetovoimaa neliölle rakennuksen ulkovaipassa.

Paine-eromittauksia voidaan suorittaa myös eri tilojen välillä, joten se ei rajoitu vain ulkoilman ja sisäilman paine-erojen mittaamiseen. Tilojen, joiden välillä kannattaa mitata paine-eroja, ovat esimerkiksi wc-tilat ja oleskelutilat. Paine-eron avulla voidaan varmistaa, että ilmanvaihto on oikein säädetty ja ilma siirtyy puhtaammista tiloista likaisempiin. Eritilojen välisiä painesuhteita voidaan tarkastella myös merkkisavu- tai merkkiainekokeilla (Koskinen 2014).

## 5.19 Rakennuksen ulkovaipan ilmavuodot (tiiviyksmittaukset)

Rakennuksen ulkovaipan ilmavuodoilla tarkoitetaan rakennuksen vaipan läpi tapahtuvaa hallitsematonta ilman kulkeutumista. Hallitsematon ilman kulkeutuminen tarkoittaa rakenteiden läpi tulevaa vuotoilmaa, jota ei ole suunniteltu rakennukseen. Vuotoilman määrässä ei huomioida rakennuksen tarkoituksenmukaisten ilmareittien kautta kulkevaa ilmamäärää, kuten IV-kanavista, savupiipuista ja korvausilma venttiileistä. Nykyisellä tietämyksellä pyritään rakentamaan erittäin tiiviitä rakennuksia, joissa hallitsemattomien ilmareittien tavoitteena on nolla. Kun rakennus on erittäin tiivis, sen rakennusfysikaalisista käyttäytymistä on helpompi hallita. Vuotoilma lisää epäpuhtauksien lisäksi myös energiankulutusta, kun korvausilma ei kulje lämmön talteenoton kautta. (Vinha 2011)

Rakennusten ilmavuotojen mittaaminen onnistuu erillisellä tiiviysmittauskalustolla. Ennen mittausta kaikki hallitut ilmankulkureitit tukitaan. Tukkimisen jälkeen rakennus paineistetaan haluttuun paine-eroon ulkoilmaan nähden erillisellä puhallinyksiköllä. Puhallinyksikkö laskee, paljonko ilmaa imetään tai puhalletaan, jotta haluttu paine saadaan ylläpidettyä rakennuksessa. Kun rakennuksen tilavuus- ja vaipanalatiedot on laskettu, voidaan puhaltimen antaman vuotoilman määrän mukaan laskea paljonko rakennus vuotaa ilmaa kuutiota tai rakennuksen ulkovaipan neliötä kohden. (Vinha et al. 2009)

Rakennuksen tiiviysarvoista puhuttaessa käytetään termejä  $q_{50}$  ja  $n_{50}$  kuvaamaan vuotoilmamääriä. Termi  $q_{50}$  tarkoittaa ilmavuotoa rakennuksen ulkovaipan pinta-alan suhteen yksikössä  $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ . Se siis kertoo kuinka monta kuutiota ilmaa vuotaa jokaista rakennuksen ulkovaipan neliötä kohden yhden tunnin aikana 50 Pa paine-erolla ulkoilmaan nähden.  $n_{50}$  tarkoittaa kuinka monta kertaa rakennuksen tilavuus vaihtuu tunnin aikana ja sen yksikkö on  $1/\text{h}$ .  $Q_{50}$  on uudempi tapa ilmoittaa rakennuksen ilmatiiviyttä, mutta  $n_{50}$ -lukua käytetään vielä jonkin verran. (RakMK D2 2012)

Tiiviysmittauksen suorittaminen aloitetaan tutustumalla kohteen piirustuksiin ja ilmanvaihtojärjestelmään. Kun saadaan selville kaikki hallitut ilmankulkureitit, ne tukitaan käyttäen ilmalla täyttyviä palloja sekä teippejä, pusseja tai muoveja. Kun kaikki ilmareitit on tukittu, voidaan ulko-oveen tai ikkunaan asentaa erillinen pressukehikko, jossa on paikka puhallinyksikölle. Kuva 8 näkyy ulko-oveen asennettu puhallinyksikkö ja laskentaohjelmaa käyttävä tietokone. Valmisteluiden jälkeen mitataan kohteesta, sisä-

ja ulkoilman lämpötila, tuulennopeus, ilmanpaine ja tiedot syötetään laskentaohjelmaan. Kaikki nämä tiedot vaikuttavat ilmamassojen ominaisuuksiin ja sitä kautta tiiviysmittaustuloksiin. Laskentaohjelma tarvitsee vielä rakennuksen kuutiot ja ulkovaipan pinta-alan, jonka jälkeen mittaus voidaan suorittaa. Puhallinyksiköstä laitetaan paineen mittausletku rakennuksen sisä- ja ulkopuolelle, jonka perusteella puhallinyksikkö tietää paljonko rakennuksen ja ulkoilman välinen paine-ero on. (Paloniitty 2012)



*Kuva 8. Tiiviysmittauskalusto on asennettuna ulko-oveen.*

Painekoe tehdään yli- ja alipaineella. Alipainekokeessa puhallinyksikkö laitetaan imemään rakennuksesta ilmaa pois. Mittauksessa on tarkoitus luoda etukäteen päätetyt viisi eri painetasoa rakennukseen ja laskea näihin tarvittava ilmamäärä. Viiden eri painetason perusteella lasketaan, paljonko vuotoilman määrä on laskennallisesti 50 Pa olosuhteissa. (Paloniitty 2012)

Mitattavat painetasot valitaan kohteen mukaan. Pientaloissa voidaan valita esimerkiksi 20 Pa, 30 Pa, 40 Pa, 50 Pa ja 60 Pa. Suurissa kohteissa ei voida välttämättä saavuttaa käytettävissä olevalla kalustolla edes 50 Pa paine-eroa. Tässä tilanteessa lasketaan 50 Pa vuotoilman määrä samalla tavalla, mutta pienempien paineiden mittauspisteiden perusteella esimerkiksi 10 Pa, 15 Pa, 20 Pa, 25 Pa ja 30 Pa. Paine- ja vuotoilmakäyrä on lineaarinen kaikilla painealueilla, joten korkeampien painealueiden suuruutta voidaan arvioida ekstrapoloimalla painepisteiden muodostamaa suoraa. (Paloniitty 2012) Suurissa kohteissa voidaan puhallinyksikön lisäksi käyttää apuna rakennuksen omaa IV-konetta, mutta tämä edellyttää IV-koneen ilmamäärien mittaamista erikseen. Kun ali-

painetesti on suoritettu, käännetään puhallin ja tehdään testi uudelleen puhaltaen rakennukseen ilmaa eli luoden ylipaineolosuhteet ulkoilmaan nähden. Kun ali- ja ylipaine testi on suoritettu, lasketaan tulosten keskiarvo ja tämä on rakennuksen ilmavuotoluku. (Paloniitty 2012)

Suurimpia virheitä mitä voi tapahtua, on jos kesken mittauksia joku tukituista ilmareiteistä, ulko-ovi tai ikkuna aukeaa. Pienikin reikä ulkovaipassa vaikuttaa mittauksiloksiin ja ikkunan raollaan oleminen pilaa mittauksen kokonaan. Toinen suuri virhelähde on väärän kuristusrenkaan käyttäminen puhallinyksikössä ja laskentaohjelmassa. Puhaltimen virtausalueita säädetään erillisillä kuristusrenkailla, jotka pitää ottaa laskennassa huomioon. Virheet renkaiden käytössä voi johtaa monen kertaluvun virheisiin lopputuloksissa. Kolmantena suurena virheen aiheuttaja on tilavuuden ja neliötietojen laskeminen. Koska tiiviysluku lasketaan suoraan tilavuuden ja vaipan neliöiden perusteella, niiden virheet vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen. Jos rakennus lasketaan liian pienillä kuutioilla, tulos on todellisuutta heikompi ja sama toisinpäin. (Leppänen 2014)

Tiiviysmittausten raja-arvoina voidaan pitää Rakentamismääräyskokoelman D3:ssa (2012) mainittua arvoa asuinrakennuksille  $q_{50}=4 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ . D3:n mukaan uudiskohteissa tulisi pyrkiä tavoite arvoon  $q_{50} < 1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ , jolla pitäisi saavuttaa rakennuksissa kosteusteknillinen turvallisuus ja energiatehokkuus. Passiivitalojen raja-arvona on  $q_{50}=0,6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ . Kun tiiviysarvo on alle  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ , pienetkin vuodot vaikuttavat merkittävästi tuloksiin. (RakMK D3 2012; RakMK D2 2012; Paloniitty 2012)

## 5.20 Merkkisavukokeet

Merkkisavukokeet perustuvat savun liikkumiseen ilmavirtauksien mukana. Kokeessa luodaan savua (erilaisilla savuilla erilaisia ominaisuuksia) tilaan ja seurataan silmämääräisesti miten se liikkuu ilmavirtausten mukana. Koe voidaan suorittaa rakennuksen normaaleissa olosuhteissa, jolloin voidaan tutkia käytön aikaisia ilmavirtoja ja ilmavuotoja rakenteiden tai tilojen välillä. Normaalikäytön aikana voidaan merkkisavuilla tutkia tilojen välisiä painesuhteita ja seurata silmämääräisesti kulkeeko ilma puhtaista tiloista likaisempiin tiloihin päin. (Holopainen et al. 2012)

Ilmavuotoja tutkitaan yleensä korostetussa alipaineessa, jolloin vuotoilmamäärät kasvavat ja niitä on helpompi havaita. Tilojen alipainetta voidaan kasvattaa säätämällä tilapäisesti ilmavaihdon poistoa suuremmaksi tai lisäämällä kohteeseen erillinen alipainepuhallin (esimerkiksi tiiviysmittauksissa käytetty).

Merkkisavujen käyttö tekee ilmavirtaukset silmin nähtäviksi. Tilojen välinen ilmareittien tarkkailu tapahtuu alipaineistamalla toinen tutkittavista tiloista verrattuna toiseen ja laskemalla savua riittävästi ylipaineeseen tilaan. Ilman kulkeutumista seurataan silmämääräisesti ja havainnot valokuvataan tarvittaessa. (Koskinen 2014)

Usein yksittäisiä ilmavirtauksia tarkastellessa käytetään savuampulleja tai pulloja, joissa savu muodostuu kemiallisesti. Hyvä puoli ampullisavuilla on niiden muodostamisen savujen lämpötila, joka on lähellä tilan lämpötilaa. Ympäristön lämpöinen savu on hyvin stabiilia ilmassa verrattuna kuumiin savuihin, jotka kohoavat ylöspäin voimak-

kaasti. Savun määrää on myös helppo säädellä sulkemalla pullon korkki tai vähentämällä ilmvirtausta ampullin läpi (ampulleihin kiinnitetään usein pieni kuminen käsipumppu). Ampullien ja pullojen huono puoli on niiden kertakäyttöisyys, rajoitettukäyttöaika, käyttömäärään suhteutettuna kallis hinta ja usein pieni savun määrä.

Savukynät ovat käteviä tutkittaessa yksittäisiä ilmavuotoja. Savukynät sytytetään palamaan ja ne alkavat muodostamaan savua. Kun tarvittava määrä savua on saatu, kynä voidaan sammuttaa ja sytyttää uudelleen seuraavalla kerralla. Sytyttäminen tapahtuu esimerkiksi tulitikulla tai sytyttimellä. Savukynän hyviä puolia on paksu savu, edullisuus käyttökertoihin suhteutettuna, helppokäyttöisyys ja uudelleen käytettävyys. Huonoja puolia ovat palamisen takia lämmin savu, joka kohoaa voimakkaasti ylöspäin ja suhteellisen pieni savun tuotto tarkasteltaessa suurempia ilmvirtauksia (Fränti 2014).

Savukoneet, joissa käytetään savunestettä, ovat monipuolisia käyttötarkoituksiltaan. Sopivan kokoisella pienellä savukoneella voidaan tutkia pieniä yksittäisiä ilmvirtauksia tai kokonaisten tilojen ilmvirtauksia. Savukoneet toimivat sähköllä ja savu muodostetaan savunesteitä kuumentamalla. Savunesteitä on olemassa useita koostumuksia, mutta kaikki ovat yleensä vesipohjaisia, joissa ”savua” muodostava komponentti on glyseroli. Savukoneiden savu ei ole oikeaa savua vaan paremminkin sumua tai usvaa eli ilmaseosta ilman palamistuotteita. Markkinoilta on saatavissa erilaisia savunesteitä, joiden avulla voidaan valita savun paksuutta, väriä, hajua ja likaamattomuutta. Ennen savun ostoa kannattaa varmistaa aineiden myrkyttömyys. Savukoneiden hyvinä puolina ovat laaja käyttöskaala, hallittavuus, uudelleen käytettävyys, halpa savuntuotto suhteessa määrään ja savun ominaisuuksien valinta. Huonoina puolina ovat usein kallis kertahankinta ja huono liikuteltavuus, jos kone on verkkovirralla toimiva. Savukoneita on saatavilla myös pattereilla ja akuilla toimivia.

Paikallisia merkkisavukokeita voi suorittaa helposti ja nopeasti missä vaiheessa vain sisäilmatutkimuksia, mutta kokonaisten tilojen savuttaminen vaatii suunnitelmallisuutta. Savukokeita ennen tulee varmistaa, että kohteen palovaroittimet kytketään pois päältä ja tarvittaessa käyttäjiä ja palokuntaa informoidaan mahdollisesti ulospäin näkyvästä savusta. (Koskinen 2014)

Yksittäisiä ilmvirtauksia tutkittaessa savu pyritään saamaan ilmvirtaukseen koh-tisuoraan, jolloin savun liikesuunta muuttuu eniten. Jos savuja ammutaan voimakkaasti kohti ilmvirtauksia tai liian läheltä, savun oma liike on niin voimakas, ettei ilmvirtausta välttämättä näe. Tarkoituksena on saada savu mahdollisimman paikallaan leijai-levaksi, jolloin pienetkin ilmvirtaukset näkyvät hyvin (Koskinen 2014).

## 5.21 Merkkiainekokeet (jälkiainemittaukset)

Merkkiainekokeilla eli jälkiainemittauksilla tutkitaan merkkisavukokeiden tapaan ilman kulkeutumista rakenteissa tai rakenteiden välillä. Erona on, että merkkisavukokeilla tutkitaan visuaalisesti samassa tilassa olevia ilman virtauksia, kun taas merkkiaineko-keilla tutkitaan kaasun kulkeutumista eri tilojen välillä ja havainnointi tapahtuu kaasun tunnistimilla. Merkkiaineita ei voida havaita silmin. Merkkisavuilla voidaan tutkia myös

tilojen välistä savun kulkeutumista, mutta savut ovat usein suuri partikkelisia ja saattavat suodattua rakenteissa sitten, että havainnointi vaikeutuu (Koskinen 2014). Merkkiaineet pääsevät kulkeutumaan savuja tehokkaammin rakenteissa ja niitä pystytään havainnoimaan lukuarvoilla, joiden avulla voidaan arvioida vuotojen suuruutta paremmin kuin savuilla (Fränti 2014). Merkkiainetutkimusta voidaan käyttää rakenteiden lisäksi myös muiden tiiviiden järjestelmien ilmanpitävyyden tutkimiseen, kuten viemäriverkoston tai IV-kanavien. (Holopainen et al. 2012)

Käytettävät merkkiaineet ovat rikkiheksafluoridi, vety-typpiseos ja typpioksiduuli. Rikkiheksafluoridia ei ole luonnostaan ilmakehässä, joten sen pitoisuuksia on helppo seurata. Rikkiheksafluoridikaasu on ilmaa raskaampaa. Mittalaite, joka käyttää rikkiheksafluoridia on esimerkiksi Innova 1412. Innova 1412 erotuskyky rikkiheksafluoridille on jopa 0,006 ppm, joten sillä pystytään havaitsemaan hyvin pieniäkin pitoisuuksia, joka on tärkeää pienten ja vaikeiden ilmavuotojen määrittämisessä. Laite ottaa mittauksissa huomioon myös vesihöyrypitoisuuden. Mittaus tapahtuu infrapunaspektroskoopin avulla ja tulos ilmoitetaan lukuarvoina. (Hintikka 2013)

Vety-typpiseos on ilmaa kevyempää kaasua. Laite, joka käyttää tutkimuksissa vetytyppiseosta on esimerkiksi Sensistor XRS9012, jonka erotuskyky on 0,7 ppm. Laite havainnoi vetypitoisuuksia äänisignaaleilla. Koska vetyä esiintyy ilmassa luonnostaan, Sensistori ei saa Innovan kaltaisesti yhtä tarkasti määritettyä vuotojen suuruutta. Laitteena Sensistor on huomattavasti kevyempi kuin Innova. (Hintikka 2013)

Mittaukset suoritetaan siten, että tutkittavaan tilaan luodaan alipaine suhteessa ympäröiviin tiloihin. Merkkiainetta päästetään kaasupullosta haluttu määrä tutkittavan rakenteen ylipaine puolelle. Merkkiaineen tunnistaminen tapahtuu alipainetilassa, jossa erillisellä kaasuntunnistinanturilla tutkitaan ilmaa mahdollisten vuotokohtien alueelta. Mahdollisia vuotoalueita ovat kaikki rakenteiden pintoja rikkovat kohdat. Käytännössä vuotopaikkoja ovat liitosrakenteet seinissä, katoissa ja lattioissa, ikkunarakenteet ja sähköjen, ilmanvaihdon ja vesiputkien läpiviennit. Innova mittarilla voidaan seurata tarkasti vuotoreittejä, sillä sen antureita voidaan asentaa yhtä aikaa useita eripuolille tutkittavaa kohdetta. Mittaukset tulisi aina suorittaa samoissa alipaineolosuhteissa, jotta testi olisi toistettavissa uudelleen samassa kohteessa. Kun testi on toistettavissa, voidaan seurata esimerkiksi korjaustöiden onnistumista. (Hintikka 2013)

Mittauksissa pitää muistaa mahdolliset virhelähteet, joista pahimmat ovat merkkiaineikaasujen oikeat käyttömäärät, kaasupullojen mahdolliset vuodot, kaasun saaminen oikein tutkittaviin rakenteisiin, sopivien painesuhteiden saaminen ja ylläpitäminen tutkimusten ajan. Muita mahdollisia virhelähteitä mittauksille ovat tutkimusten läheisyydessä tapahtuvat toiminnot, jotka tuottavat samoja aineita kuin kokeissa käytetään, esimerkiksi asfalttitöiden mahdollisesti tuottama rikkiheksafluoridi (Hintikka 2013). Tutkimuksille ei ole erikseen mitään raja-arvoja vaan merkkiaineiden pitoisuus havainnot pitää aina suhteuttaa tutkittavan kohteen kokonaisuuteen ja olosuhteisiin.

## 5.22 Lämpökuvaukset

Lämpökuvaus perustuu lämpösäteilyn muuttamiseen kuvaksi lämpökameralla. Lämpökamera toimii samalla tavalla kuin infrapunälämpömittari, mutta infrapunamittarissa on vain yksi mittauspiste, kun vastaavasti lämpökamerassa jokainen pikseli on yksi mittauspiste. Erilliset mittauspisteet muodostavat lopulta kuvan. Tarkan, tutkimuskäyttöön tarkoitetun, lämpökameran resoluutio on 240x320 ja siitä ylöspäin (Paloniitty & Kauppinen 2011). Lämpökuvauksen idea on havainnoida pintalämpötilojen eroja erivärisinä alueina ja sitä kautta rakenteita tai rakenteissa tapahtuvia asioita. Lämpökuvien tulkinta vaatii rakenteiden toimivuuden ja rakennusfysiikan osaamista. Lämpökameralla on helppo saada toimivakin rakenne näyttämään huonolta, kun muuttaa kameran asetuksia. Suomessa VTT pitää yllä sertifioituneiden lämpökuvaajien listaa (VTT Expert Services Oy 2015).

Lämpökameralla havaittavia asioita ovat puutteelliset eristeet, kylmäsillat, pinnassa olevat kosteusvauriot ja ilmavuodot. Puutteelliset eristeet havaitaan lämpökuvissa viileämpinä alueina, jotka rajautuvat yleensä selkeästi. Lisäksi viileät alueet rajoittuvat usein koolinkiväleihin. Koska eristämätön tai heikommin eristetty alue johtaa paremmin energiaa rakenteiden läpi, näkyy se myös rakennuksen pintalämpötiloissa, vaikka lämpötila ero olisikin alle 0,2 °C. Kameralla on tehokasta havainnoida esimerkiksi painuneita purueristeitä tai epätasaisia puhallusvilloja rakenteista pintoja rikkomatta. (Paloniitty & Kauppinen 2011)

Kylmäsillat ovat yleensä hyvin terävärajaisia viileitä alueita ja ne esiintyvät säännöllisesti vastaavissa rakenteissa. Esimerkki kylmäsillasta on puurakennuksen runkotolpat. (Paloniitty & Kauppinen 2011)

Lämpökameralla voidaan havaita kosteusvaurioita, jotka ovat päässeet rakenteiden pinnoille asti. Jos kameralla ei havaita kosteutta, se ei tarkoita ettei rakenteiden sisällä voi olla kosteutta. Yleensä kameralla havaittavat kosteat alueet ovat epämääräisen muotoisia tai pyöreitä. Lämpökamera ei siis yksin sovellu kosteusvaurioiden havainnointiin ja sen tuloksia pitää ostata tulkita oikein. Kosteuden havainnointi lämpökameralla perustuu veden haihtumiseen ja sen aiheuttamaan pintojen viilenemiseen, mikä havaitaan lämpökameralla. Myös jos rakennuksen eristeet tai rakenteet ovat kastuneita, johtaa märkä eriste eritavalla lämpöä kuin kuiva, joten tällaiset alueet voidaan myös havaita. (Infrared Training Center 2011)

Sisäilmatutkimuksissa lämpökameroita käytetään eniten ilmavuotojen paikantamiseen. Kun rakennus on alipaineinen, viileä ulkoilma tulee rakenteiden läpi viilentäen vuotoalueita. Viileät vuotoalueet on helppo havaita kameralla ja ne ovat yleensä sahalaitaisen muotoisia lämpökuvassa. Kuva 9 on seinän ja katon rajassa oleva esimerkki ilmavuotoalue. Jos ei olla varmoja, mitkä havainnot lämpökuvissa on kyseessä, ilmavuodot voidaan selvittää varmaksi kuvaamalla rakennus ensin alipaineessa. Alipaineessa ilmavuodot tulevat voimakkaasti esille. Alipaine kuvauksen jälkeen rakennukseen luodaan ylipaine, jolloin kaikki ilmavuotoalueet pitäisi hävitä, kun lämmin sisäilma kulkee vuotoalueiden läpi lämmittäen rakenteet ympäristön lämpöisiksi. (Vinha et al. 2009)



*Kuva 9. Seinän ja katon liitoksessa on havaittavissa ilmavuotoa. Seinällä näkyy lämpökameran laserosoitin havaintojen paikallistamiseen.*

Virallisen oikeuskelpoisen lämpökuvauksen suorittaminen vaatii tarkat olosuhteet. Sisä- ja ulkolämpötilan ero pitää olla ennen kuvausta vähintään 12 tunnin ajan 3/U (U on lämmönläpäisykerroin), mutta ei kuitenkaan alle 15 °C. Ulkolämpötila ei saa poiketa mittauksen aikana enempää kuin  $\pm 5$  °C. Sisälämpötila ei saa poiketa enempää kuin  $\pm 2$  °C. Ulkolämpötila ei saa poiketa 12 tunnin aikana ennen mittauksia enempää kuin  $\pm 10$  °C. Rakennuksessa tulee olla kuvaksissa lievä alipaine, mutta ei enempää kuin 15 Pa. Nämä määräykset koskevat kevyitä rakenteita, kuten puurakennuksia. (Ratu 1213-S 2005)

Massiivisissa rakenteissa, kuten kivitaloissa lämpötilaa pitää seurata 12 tunnin sijasta 24 tuntia. Mittauksia ei tule myöskään suorittaa poikkeuksellisen kylmissä olosuhteissa, eikä kovalla tuulella. Suora auringonpaiste heikentää tuloksia. (Ratu 1213-S 2005)

Täydellinen lämpökuvaus sää on loppuvuoden pilvinen pakkaspäivä, kun pakkasta on ollut 12h ajan noin 5–10 °C ja tuuli on tyyni. Keväällä aurinko alkaa lämmittää rakenteita ja kuvaukset täytyy usein suorittaa aikaisin aamulla, jolloin aurinko ei vaikuta tuloksiin (Paloniitty & Kauppinen 2011). Tarvittavien sääolosuhteitten vuoksi lämpökuvauksen tekeminen voi olla välillä hyvin haastavaa varsinkin leutoina talvina. Esimerkiksi talvella 2013–2014 hyviä mittaussäätöjä oli vain noin kaksi viikkoa Lahden alueella.

Lämpökameraa voi hyödyntää tutkimusvälineenä vaikka olosuhdetiedot eivät täytyisikään. Kun lämpötila ero on noin 5 °C, voidaan jo alipaineessa havaita ulkovaipan ilmavuotoja. Tämä mahdollistaa lämpökameran hyödyntämisen melkein ympäri vuo-



den. Ilmavuotoja voidaan tarvittaessa havainnoida myös toisin päin, eli kun ulkona on lämpimämpää kuin sisällä, etsitään alipaineessa lämpimiä alueita, eikä kylmiä.

Lämpökuvausten analysointi tapahtuu kentällä tehtyjen havaintojen lisäksi analysointiohjelmilla. Ohjelmiin voidaan asettaa ympäristön olosuhdetiedot, jolloin laskentaohjelmat ilmoittavat ja merkitsevät lämpökuviin esimerkiksi kondenssiriskialueet. Lämpökuvia voidaan muokata hyvin paljon analysointiohjelmilla, mutta kolme asiaa ei voida jälkeempään muuttaa. Nämä kolme asiaa ovat fyysisesti kuvan rajaaminen, kuvan tarkennus eli fokusointi ja kameran mitta-alue. Kaikkia muita arvoja voidaan lämpökuvissa muuttaa jälkeempään, värimaailmoista lähtien (Paloniitty & Kauppinen 2011).

Lämpökuvauksia käytetään usein tutkimusten apuvälineenä, jolloin ei ole olemassa raja-arvoja vaan kuvien antamaa tietoa pitää osata tulkita. Kun suoritetaan virallisia lämpökuvauksia, Asumisterveysohje määrittää asuintiloissa vaadittavat lämpöolosuhteet. Lämpötilaindeksiin mukaan voidaan arvioida rakenteiden hyväksyttävyyttä lämpötekniisesti. Indeksiksi lasketaan seuraavalla kaavalla. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

$$TI = \frac{T_{sp} - T_o}{T_i - T_o} * 100 \quad (2)$$

TI = lämpötilaindeksi

T<sub>sp</sub> = sisäpinnan lämpötila °C

T<sub>i</sub> = sisäilman lämpötila °C

T<sub>o</sub> = ulkoilman lämpötila °C

Kaavassa 2 lämpötilaindeksi saadaan laskettua vähentämällä tutkittavan pinnan lämpötilasta ulkoilman lämpötila ja jakamalla se tutkittavan tilan lämpötilalla, josta on vähennetty myös ulkoilmanlämpötila. Taulukossa 1 on asumisterveysoppaan lämpötilaindeksin raja-arvoja. Indeksillä voidaan helposti arvioida pintojen lämpöteknistä tasoa ja kondensoitumisen riskiä. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

**Taulukko 1.** Lämpötilaindeksien ohjeellisia raja-arvoja (Lähde: Ympäristö ja Terveys-lehti 2009).

LÄMPÖTILOJEN LÄMPÖTILAINDEKSIEN / ILMAN VIRTAAUSNOPEUDEN OHJEELLISIA ARVOJA				
Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) <sup>1)</sup>	18 <sup>1)</sup>		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 <sup>2)</sup>		20	
Seinän lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	16	81	18	87
Lattian lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	18	87	20	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 <sup>4)</sup>	61	12	65
Ilman virtausnopeus <sup>5)</sup>	vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

## 5.23 Lämpötilojen mittaukset

Sisäilman lämpötila vaikuttaa voimakkaasti ihmisten tuntemaan sisäilman laatuun. Jo pelkästi huonot lämpöolosuhteet sisätiloissa saattavat aiheuttaa ihmisillä yleisoireilua. Liian korkea lämpötila lämmityskaudella lisää väsymystä, heikentää keskittymiskykyä, aiheuttaa hengitystieoireilua ja kuivuuden tunnetta. Korkea lämpötila lisää myös kaa-sumaisten epäpuhtauksien vapautumista materiaaleista. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Käyttäjän kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttaa huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus, ilman kosteus, vaatetus ja ihmisen toiminnan laatu. Lämpöaistimus ei ole kiinni vain yhdestä tekijästä, vaan se on monien tekijöiden summa. Lämpöaistimus on yksilöllinen eri ihmisillä. Huonetilojen lämpötiloihin vaikuttaa lämmityksen ja ulkolämpötilan lisäksi muun muassa eristevirheet, kylmäsillat, suuret kylmät pinnat (esimerkiksi ikkunat), ulkovaipan ilmapuodot, huonetilojen muoto sekä ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysjärjestelmien toimivuus. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Sisäilman lämpöoloja mitattaessa tulisi selvittää ensisijaisesti tilan olosuhteiden vaikutus asumisterveyteen (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Lämpötilamittaukset aloitetaan usein mittaamalla ilman lämpötila oleskeluvyöhykkeellä. Mittaus suoritetaan tarpeeksi tarkalla ja luotettavalla lämpömittarilla. Tilan vetoisuutta voidaan havainnoida merkkisavuilla. Jos tilan lämpötila on vähintään 20 °C, eikä erityistä vetoa ole havaittavissa, voidaan lämpöolojen olettaa olevan hyvät. Jos oleskeluvyöhykkeen lämpötila on alle 18 °C tai havaitaan huomattavaa vetoa tilassa, tulee seuraavaksi suorittaa tarkempia lämpötila- ja vetomittauksia (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Tarkemmat tilan lämpötilamittaukset suoritetaan mittaamalla operatiivinen lämpötila pallo-, kuutio-, tai ellipsilämpömittarilla standardin SFS 5511 mukaisesti. Vedon suuruus mitataan virtausnopeusmittarilla (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009). Pintalämpötiloja voidaan mitata, lämpökameralla, infrapunälämpömittarilla tai kosketuslämpömittarilla. Kaikilla mittareilla pitää muistaa omat mittaustekniikat ja huomioitavat asiat. Lämpökameraan pitää osata syöttää oikein ympäristön olosuhdetiedot ja mitattavan materiaalin emissiivisyys. Infrapunälämpömittaria käytettäessä täytyy tietää materiaalin emissiivisyys ja ymmärtää mitaustetäisyyden vaikutus tuloksiin. Mitä kauempana infrapunamittarilla mitataan, sitä laajemmalla alueella mittaustuloksen keskiarvo saadaan, eli mitta-alueen keila kasvaa etäisyyden kasvaessa. Pintalämpömittareiden pitää muistaa antaa tasaantua tarpeeksi kauan ennen kuin tulos luetaan, koska mittaustekniikka perustuu johtavuuteen. Suuria lämpötilaeroja mitattaessa tulee aina muistaa antaa mittaustulosten ja antureiden tasaantua tarpeeksi kauan (Koskinen 2014).

## 5.24 Ilmanvaihdon tutkiminen

Ilmanvaihdon kuntotutkimus on usein oma osaamisalueensa, mutta sisäilmatutkijan pitää ostata vähintään sanoa perusasiat ilmanvaihdosta ja sen toimivuudesta. Ilmanvai-

to on iso yksittäinen tekijä sisäilmaongelmissa (Koskinen 2014). Hyvällä ilmanvaihdolla voidaan pelastaa ja poistaa lieviä sisäilmaongelmia, mutta huono ilmanvaihto riittää jo yksin syyksi huonoon sisäilman laatuun. Ilmanvaihtoa voidaan tutkia muun muassa paine-, lämpötila- ja virtausnopeusmittauksilla, lisäksi ilmanvaihtojärjestelmästä voidaan ottaa näytteitä (Paasivirta 2014). Tässä luvussa käsitellään asiaa vain pintapuoleisesti, jotta sisäilmatutkija ymmärtää tarkistaa ilmanvaihdon perusasiat ja ymmärtää ilmanvaihdon merkityksen kokonaisuuden kannalta.

Sisäilmatutkimuskohteissa on aina hyvä aistinvaraisten havaintojen yhteydessä tarkistaa ilmanvaihdon perusasiat. Perusasioita ovat: onko ilmanvaihtoa, jos on onko se painovoimainen, koneellinen poisto, koneellinen tulo ja poisto vai onko se järjestetty jotenkin muuten? Seuraava asia on tarkistaa, mistä korvausilma tulee ja minne likainen poistoilma menee? Onko mahdollista, että likainen ja puhdas ilma pääsevät sekoittumaan tai likaisista tiloista otetaan puhtaisiin tiloihin korvausilmaa? Kanavien rakenne on myös hyvä tarkistaa jos se on mahdollista, sillä kanavavuodot aiheuttavat väärässä paikkaa helposti ongelmia. (Paasivirta 2014)

Suurissa kohteissa, kuten kouluissa ja teollisuuden tiloissa, jotka ovat käytössä vain osan aikaa päivästä, ilmanvaihto on usein säädetty siten, että se sammuu tai vähenee yöajaksi. Ilmanvaihdon poispäältä oleminen voi mahdollistaa ilmavirtauksien suuntien muutoksia kanavistoissa, putkistoissa ja tiloissa (Paasivirta 2014). Pahimmillaan huonosti toteutetuista viemäreistä voi päästä ilmaa väärään suuntaan tai poistokanavat muuttuvat tulokanaviksi. Usein tällaiset ilmanvaihdon vikatilat on vaikea havainnoida, koska muutos tapahtuu tilojen ollessa pois käytöstä, yö- tai loma-aikaan. Tällaisia tilanteita varten on hyvä suorittaa loggaavia tarkistusmittauksia pitemmällä aikavälillä esimerkiksi paine-eroilla (Koskinen 2014).

Ilmanvaihdon suodattimet ja IV-koneiden sisäosat on hyvä tarkistaa (Paasivirta 2014). Jos suodattimia ei ole vaihdettu ja ne ovat päässeet esimerkiksi kosteudesta vaurioitumaan, mahdolliset mikrobiepäpuhtaudet voivat helposti levitä ympäri rakennusta ilman, että tiloissa olisi muuten mikrobiongelmaa. Väärin asennetut tai vanhat suodattimet voivat laskea myös ohivirtausta suodattimista, jolloin käyttötiloihin ja kanavistoon pääsee turhaa epäpuhtauksia (Paasivirta 2014). Kanavistoihin kertynyt orgaaninen epäpuhtaus voi alkaa sopivissa olosuhteissa kasvamaan mikrobeita, jolloin ilmavirtauksien mukana ongelmat siirtyvät käyttötiloihin. Kanavistojen säännölliset puhdistukset ovat tärkeitä, ja jos mahdollista kohteen edellisen IV-putsauksen ajankohta olisi hyvä selvittää. (Holopainen et al. 2012)

Vanhoissa ilmanvaihtojärjestelmissä on usein myös vanhat äänenvaimentimet. Vanhojen äänenvaimentimien eristevillat ovat usein menettäneet sideaineominaisuudet tai villat ovat pinnoittamattomia, jolloin niistä pääsee irtoamaan kuituja ilmavirtauksien mukana (Paasivirta 2014). Irronneet kuidut aiheuttavat käyttötiloissa helposti sisäilmaongelmia. Villapölyä ja kuituja voi päästä ilmanvaihtoon myös huonosti toteutetuista kanavistojen ja IV-koneiden liitoksista. Kaikki kuidut ilmassa aiheuttavat ihmisille hengitysoireita. (Holopainen et al. 2012)

Jos epäillään ilmavaihdon aiheuttavan ongelmia tiloissa, voidaan IV:lle tehdä kohdennettuja tarkastuksia. IV-kanavistojen ja päätelaitteiden pinnoilta voidaan ottaa erikseen sivelymikrobi- tai kuitunäytteitä. Suoraan kanavistoista otettujen näytteiden pitoisuuksia pitää suhteuttaa käyttötilojen raja-arvoihin ja arvioida erikseen mahdollisten ongelmien merkitys ja vaikutus. (Holopainen et al. 2012; Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Viimeisenä perusasiana ilmanvaihdon tutkimisesta täytyy huomioda ilmamäärät ja tilojen huuhtelevuus (Paasivirta 2014). Riittämättömät ilmamäärät nostavat tiloissa helposti hiilidioksidi pitoisuudet liian korkeiksi, jolloin ilma tuntuu huonolaatuiselle. Hiilidioksidiarvojen mittaaminen on esitetty aikaisemmin luvussa 5.12 hiilidioksidin mittaus. Tilojen huuhtelulla tarkoitetaan tulo- ja poistoilman virtauksia, ja kuinka tehokkaasti ilma kiertää tilassa ennen kuin se menee poistokanavistoon (Holopainen et al. 2012). Huonoimmassa tilanteessa tiloissa on oikeat ilmamäärät, mutta poistokanavisto on suoraan tulokanaviston edessä, jolloin syntyy sulkuvirtausta eli puhdas ilma menee suoraan poistokanavaan ilman, että se sekoittuu tilassa. Kun ilma ei pääse sekoittumaan tilassa, se ei puhdistu ilmaa tarpeeksi vaikka ilmamäärät olisivat oikeat. Pääte-elimien edessä voi olla myös rakenteellisia esteitä, jotka heikentävät tuloilman sekoittumista tilassa (Paasivirta 2014).

Ilmanvaihto on laaja kokonaisuus ja usein sisäilmatutkimuksissa on oma IV-tutkija, joka tutkii ilmanvaihto osuuden. Pienemmissä kohteissa, joissa käytetään yhtä tutkijaa, IV:n tutkiminen kuuluu usein sisäilmatutkijalle (Koksinen 2014).

## 5.25 Pieneliöiden tutkiminen

Rakennuksiin hyönteiset ja pieneliöt tulevat suojaan kylmiä säätiloja tai etsimään ravintoa. Yleensä parhaimmat olosuhteet muodostuvat eliöille kosteusvaurioiden tai huonon hygienian takia. Hyönteiset voivat tulla rakennuksiin myös tavaroiden mukana. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Suomessa on noin 20 000 hyönteislajia, mutta ainoastaan noin 100 lajia ovat tuho-laishyönteisiä. Suurin osa lajeista on ihmisille vaarattomia, mutta osa lajeista voi kuljettaa haitallisia tauteja, kuten salmonellaa. Nykyään rakennuksissa voi esiintyä lajeja, joilla on trooppinen tausta, joten ne eivät voi elää Suomessa ulkona ja ovat siten vain sisätilojen lajeja. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Sisäilmatutkimuksissa kannattaa kiinnittää huomiota havaittuihin hyönteisiin. Joskus on mahdollista päätellä miksi ja mistä ne ovat tulleet sisälle rakennukseen. Esimerkiksi tavatessa sokeritoukkia voidaan päätellä, että rakenteissa on oltava tarpeeksi kosteutta niiden elämiseen tai sitten viemäreistä on suora pääsy joltain kautta sisätiloihin (Koskinen 2014). Kaupalliset tai kunnalliset tutkimuslaitokset voivat tarvittaessa tunnistaa hyönteiset. Hyönteisten tunnistaminen vaatii hyönteisen kiinniottamisen ja toimittamisen tutkittavaksi. Tavatessa erikoisia lajeja tai epäillessä lajia, joka on ihmiselle haitallinen, kannattaa aina ottaa näyte ja lähettää se tutkittavaksi.

Osa hyönteisistä on hajottajia, joten niitä voi esiintyä pitkäaikaisissa kosteusvaurioissa, joissa on alkanut esiintyä lahoa. Hyönteiset vaativat rakenteissa kulkureittejä, joten jos niitä tavataan rakenteissa, voidaan rakenteiden ilmanpitävyyttä kyseenalaistaa. Esimerkiksi betonirakenteet ovat usein tiiviitä, mutta kun niihin muodostuu tarpeeksi suuria halkeamia, mahdollistavat ne hyönteisten liikkumisen. Osa hyönteisistä hajottaa puuta, joten ne voivat itse luoda omat kulkureittinsä puurakenteissa heikentäen rakenteita.

## 6 KÄYTÄNNÖN JA OHJEISTUKSIEN KOHTAAMINEN

Tutkimusmenetelmistä, joita käytetään sisäilmatutkimuksissa, on olemassa useita ohjeita ja standardeja. Tässä työssä on esitelty ohjeistuksia, mutta lopulta tutkija on vastuussa siitä, miten ohjeita noudatetaan käytännössä. Osa tutkimusmenetelmistä on hyvin tarkkoja oikeasta suoritustavasta, kuten mikrobinäytteidenotto, mutta osa tutkimusmenetelmistä on ohjeistettu väljemmin, kuten hiilidioksidin mittaaminen. Tutkimusten onnistuminen on kiinni tutkijan kokemuksesta ja osaamisesta. Käytännössä tutkija vastaa itse miten hyvin hän on seurannut tutkimusten ohjeistuksia ja kuinka tarkasti hän on niitä noudattanut. Siksi kuntotutkijalla on syytä olla pätevä koulutus tehtäviinsä ja lisäkoulutusta on hyvä hankkia työskentelyllä vanhempien kollegojen kanssa sekä päivittää tietojaan uusista julkaisuista ja lisäkoulutuksista.

Usein tutkimuksissa tulee vastaan käytännönongelmia esimerkiksi oikea-aikaisesta mikrobinäytteiden toimittamisesta laboratorioon. Pahimmillaan näytteet joudutaan ottamaan perjantai-iltana ja laboratorio on kiinni viikonlopun yli. Tällaiset tilanteet tutkijan on kyettävä ennakoimaan ja tarvittaessa oltava yhteydessä laboratorioon toimintaohjeiden saamiseksi. Vaikka osa mikrobinäytteistä tulisi toimittaa 24 tunnin aikana laboratorioon, voidaan näytteitä usein säilöä laboratorion ohjeiden mukaisesti viikonlopun yli.

Kaikkia näytteidenottamisten tai tutkimusten ohjeita ei aina käytännönsyistä voida noudattaa. Jos joudutaan poikkeamaan normaaleista toimenpiteistä, tutkijan tulee kirjata kaikki poikkeavat asiat ja syyt miksi toisin on jouduttu toimimaan. Lopulta tuloksia tulkittaessa pitää huomioida poikkeavat tekijät ja miettiä niiden mahdollinen vaikutus lopputuloksiin. Käytännössä ohjeistuksista joudutaan joskus poikkeamaan, joten siihen on hyvä varautua.

Kuntotutkimukset ovat osa korjausrakentamista ja kiinteistöjen ylläpitoa. Kuntotutkimukset toimivat usein lähtötietoina korjaussuunnittelijoille, jotka suunnittelevat korjaustavat ja ratkaisut. Yleensä kuntotutkimukset on suoritettu ennen kuin käännytään korjaussuunnittelijoiden puoleen, mutta käytännössä parempi lopputulos voitaisiin saada jos korjaussuunnittelijat olisivat osin mukana kuntotutkimuksissa. Jos korjaussuunnittelijat saataisiin mukaan kommentoimaan kuntotutkimuksia, voitaisiin tutkimuksia kohdentaa lisäksi suunnittelun kannalta kriittisille alueille ja saada siten käyttöön paremmat lähtötiedot korjausprojekteissa. Aina suunnittelijoiden tarvitsemat tiedot eivät löydy kuntotutkimuksista jos tutkimukset on esimerkiksi kohdennettu eri asioihin kuin suunnittelijat tarvitsisivat. Jos tutkimukset on suoritettu loppuun, kuntotutkijoita kannattaa hyödyntää suunnittelukokouksissa tai jatkotutkimuksissa, koska heillä on yleensä hyvät ja ajantasaiset tiedot kohteesta.

## 7 SISÄILMAN KUNTOTUTKIMUSHANKKEEN LÄPIVIENTI

Sisäilman kuntotutkimuksia voidaan suorittaa rakennuksen lähes kaikissa elinkaaren vaiheissa. Tällä hetkellä sisäilmatutkimuksia suoritetaan pääsääntöisesti vasta, kun vaurioita tai merkittävässä määrin oireilua on havaittu. Todellisuudessa sisäilmatutkimuksia olisi hyvä tehdä jo osana kiinteistön huoltoa tai kunnossapitoa, jolloin voitaisiin havaita ongelmia ennen kuin ne tulevat havaittaviksi ilman tutkimuksiakin. Koska yleisin lähtötilanne sisäilmatutkimuksille on havaitut ongelmat, tässä luvussa käsitellään sellaisen hankkeen läpivientiä. Lisäksi käsitellään miten hankkeessa voidaan toimia tilaajan ja tutkijan välillä. Hankkeen läpivientiä käsitellään suuren kohteen näkökulmasta, jossa tilaajapuolella on oma organisaatio ja tiloilla erillinen käyttäjäkunta. Hankkeen läpivientiä voidaan soveltaa pienempiin kohteisiin, mutta yleensä pienissä kohteissa on vähemmän osapuolia, henkilöitä ja tutkittavaa, myös rahaa ja aikaa on käytettävänä vähemmän.

Esimerkki tutkimushanke alkaa tilanteesta, että tilaajaosapuoli on havainnut tiloissa merkittävää oireilua, jota ei pystytty selittämään helposti muilla tekijöillä kuin sisäilman ongelmilla. Oireilua on voinut olla olemassa jo vuosia, mutta nyt asialle on päätetty tehdä jotain tai oireilu on pahentunut. Tilaaja on voinut käyttää tiloissa jo ennen sisäilmatutkimuksia kuntoarvioijia tai muita vastaavia asiantuntijoita tekemässä tilanearvioita. Kun ongelmiin ei löydetä ratkaisuja, otetaan yhteyttä kuntotutkimuksia tarjoavaan yritykseen, joilla on kyky ratkaista haastavia sisäilmaongelmia. Jo ennen tutkimusten tilaamista tilaajataho on voinut teettää käyttäjä-, sisäilma- tai oirekyselyitä kohteessa.

Tilaaja käynnistää hankkeen olemalla yhteydessä tutkimuksia tarjoavaan yritykseen ja toimittamalla tutkijoille tarvittavia asiakirjoja ja selvityksiä kohteesta sekä havaituista ongelmista. Tutkija ja tilaaja käyvät kohteen perusasioita yhdessä läpi. Kohteesta selvitetään lähtötiedot, joihin kuuluu muun muassa rakennepiirustukset, korjaushistoria, mahdolliset havaitut ongelmat ja aikaisemmin tehdyt kuntokartoitukset. Tutkittavan kohteen tilojen ja selvitettävien ongelmien rajauksista keskustellaan ennen tilauksen tekemistä. Tämän jälkeen tutkijat tekevät tarjouksen, jossa selviää tutkimuksen sisältö ja kustannukset. Kun tilaajalle on tarjouksen perusteella selvillä alustavien tutkimusten laajuus ja kustannustaso suoritetaan virallinen tilaus ja tutkimushanke voi käynnistyä. Usein kunnilla ja kaupungeilla on puitesopimus etukäteen kilpailutettujen konsulttiyritysten kanssa, jolloin tutkimushankkeiden käynnistäminen ja tekijöiden valinta on nopeampaa. Puitesopimustilanteessa tilaaja ilmoittaa ongelmasta ja selvitysten laajuudesta, jonka jälkeen hanke pääsee käynnistymään.

Tilauksen käynnistysvaihe on yksi kriittisimmistä projektin vaiheista. Jos tilaaja haluaa rajata tutkimuksien laajuutta tietämättä tutkittavista asioista tarpeeksi, voi syntyä tilanteita, joissa tutkijoille ei anneta tarpeeksi resursseja ratkaista ongelmaa. Hinta ei saisi olla sisäilmatutkimuksissa ainoa ratkaiseva asia tutkimuskeinoja ja tekijöitä valittaessa. Ongelmien aiheuttajia ei tiedetä tarkkaan etukäteen, joten tutkimuksia on vaikeaa hinnoitella tarkasti. Urakkatyyllisessä ratkaisussa hintakaton tullessa vastaan kesken tutkimusten, saatetaan joutua tinkimään esimerkiksi näytteiden määrästä, joka vaikuttaa suoraan tutkimusten luotettavuuteen ja tarkkuuteen. Toimivin tapa hoitaa hankkeen käynnistäminen on tietää ennestään luotettava yritys, joka on pystynyt hoitamaan vastaavia ongelmia aikaisemminkin, ja valita mieluummin kokemus alhaisemman hinnan sijasta.

Kun tilaus on tehty, tutkijat aloittavat analysoimalla tarkemmin lähtötietoja. Joissakin suurissa ja laajoissa kohteissa on hyvä teettää tässä vaiheessa käyttäjä-, sisäilma- tai oirekyselyitä jos niitä ei ole vielä tehty. Käyttäjäkyselyt saattavat helpottaa ongelmien rajaamisessa ja tutkimusten kohdentamisessa. Kyselyt tilaa yleensä tilaajataho ja kyselyt toteuttaa niihin perehtynyt organisaatio. Hyvien lähtötietojen perusteella saatetaan löytää jo ennen kohdekäyntejä mahdollisia riskirakenteita tai havaintoja, jotka voivat olla syynä sisäilmaongelmiin. Mitä huonommat lähtötiedot ovat, sitä kauemmin tutkijoiden on varattava aikaa kohteen kenttätutkimuksiin, jotta vastaavat tiedot voidaan selvittää paikanpäällä.

Tutkijoiden on hyvä pitää tilaaja aina tietoisina tehtävistä tutkimuksista ja niiden etenemisestä. Jos tutkimuksissa joudutaan käyttämään huomattavan kalliita tutkimusmenetelmiä, on niistä hyvä keskustella tilaan kanssa etukäteen, jotta ei synny yllätyksiä myöhemmin kustannuksissa.

Kenttätutkimusvaiheessa suoritetaan suunnitellut tutkimukset, joita ovat esimerkiksi tässä työssä luvussa 5 käsitellyt asiat. On mahdollista, että ongelma ratkeaa suunnitelluilla tutkimuksilla, mutta usein kenttätutkimusvaiheessa paljastuu sellaisia asioita, joita ei ole voitu ottaa huomioon tutkimusten suunnitteluvaiheessa. Kun uusia tärkeitä asioita paljastuu, voidaan tutkimuksia tarvittaessa laajentaa ja suorittaa uusia tutkimuksia havaintojen perusteella. Aina tutkimusten laajetessa on informoitava tilaajaa ja tarvittaessa hyväksytettävä suunniteltua laajemmat tutkimukset ja niissä aiheutuneet lisäkustannukset.

Kun kenttätutkimusten perusteella saadaan alustavia tutkimustuloksia, on hyvä tiedottaa tilaajaa sekä tarvittaessa käyttäjiä havainnoista ja tutkimusten jatkumisesta. Tilaajien ja käyttäjien epätietoisuus saattaa aiheuttaa kärjistyneitä tilanteita, kun esimerkiksi tilojen turvallisuudesta ja käyttöön soveltuvuudesta ei ole tietoa.

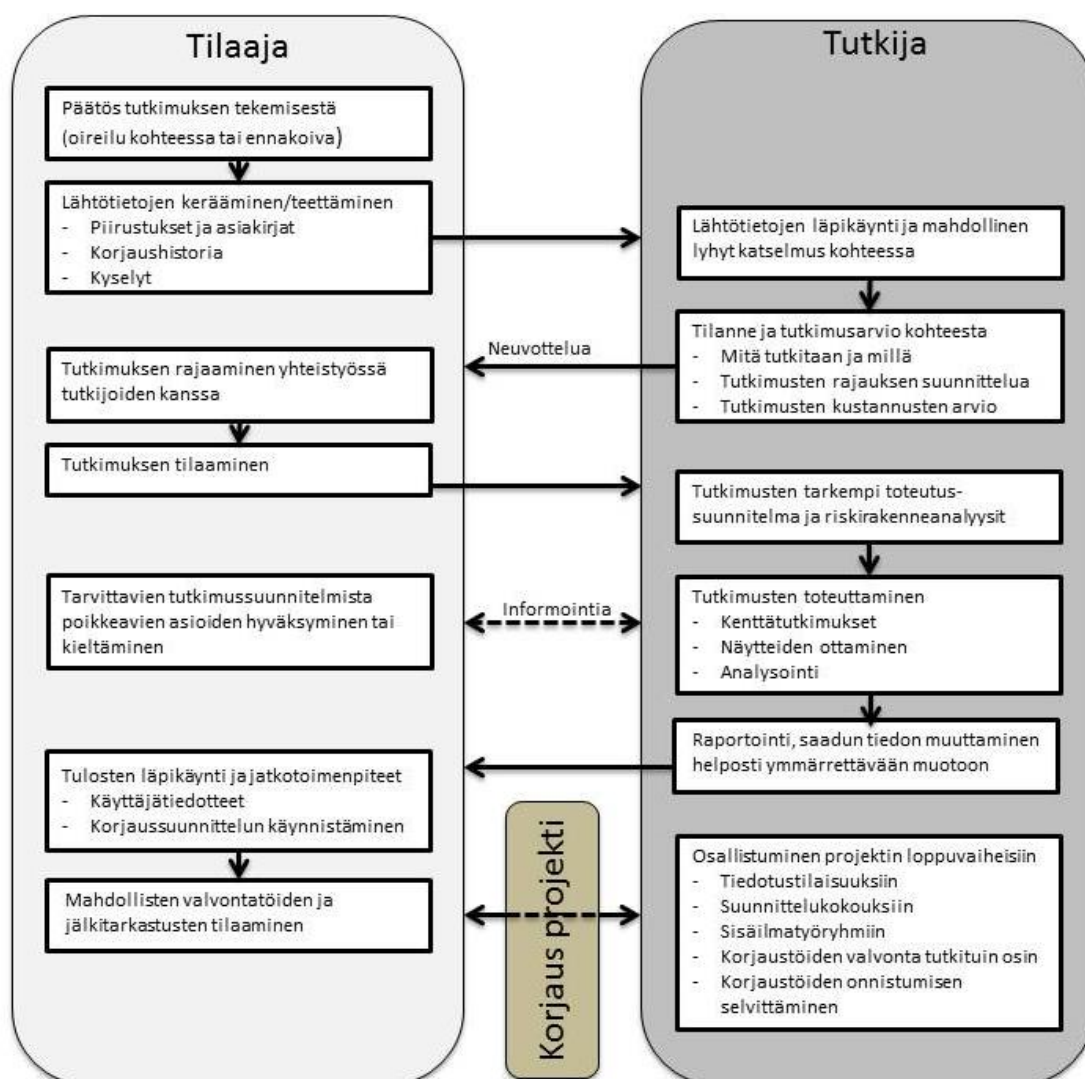
Suuri osa sisäilmatutkimuksista vaati näytteidenottoa ja tulosten analysointia jälkeenpäin, mikä tarkoittaa, ettei tutkijalla ole täydellisiä vastauksia kaikkiin kysymyksiin heti kenttätöiden jälkeen. Kenttätutkimusten jälkeen tutkijalla pitää olla kuitenkin käsitys mahdollisista ongelman aiheuttajista ja mahdollisesti tarvittavista lisätutkimuksista.

Kun tutkija saa kaikki laboratoriotulokset ja muut tutkimustiedot analysoitua tekee hän raportin tutkimuksista. Raportin sisällöstä ja muodosta voidaan sopia tilaajan kans-



sa, mutta alalla yleisesti vaadittavat asiat on esitettävä asianmukaisesti ja puolueettomasti. Raportti ja sen loppupäätelmät on hyvä käydä erikseen tilaajan kanssa läpi, jotta tärkeät asiat tulevat varmasti esille ja tilaaja ymmärtää raportin sisällön. Tilaajalla ei aina välttämättä ole laajaa rakennusalan koulutusta, joten asiat pitää tarvittaessa esittää siten, että tilaaja pystyy tekemään oikeat johtopäätökset jatkoa varten.

Kun tutkimuksesta on selvinnyt tarvittavat korjaustarpeet, tilaaja voi käynnistää alustavan korjaussuunnittelun. Parhaassa mahdollisessa tilanteessa korjaussuunnittelija on jo valittuna sisäilmakuntotutkimusraportin valmistuttua. Jos korjaussuunnittelija saadaan mukaan raportin läpikäymiseen, tieto siirtyy parhaiten ilman välikäsiä. Kun suunnittelija on mukana raportin läpikäymisessä, voi hän kommentoida havaintoja ja johtopäätöksiä omasta näkökulmastaan ja tarvittaessa kysellä sellaisia asioita, joita ei välttämättä ole käsitelty tutkimuksessa. On mahdollista, että suunnittelija tarvitsee sellaista tietoa kohteesta, jota ei ole koettu tarpeelliseksi käsitellä kuntotutkimuksissa muuten. Tässä tilanteessa tilaaja voi vielä laajentaa tutkimuksia lisätutkimuksilla, jotta suunnittelija saa tarvittavat lähtötiedot. Kuva 10 on esitetty kuvana tutkimushankkeen läpivienti tilaajan ja tutkijan välillä.



Kuva 10. Kuvassa on sisäilmatutkimuksen vaiheet ja roolit kaaviona esitettynä.

Vaikka usein mielletään sisäilmatutkijoiden työn päättyvän raportin luovutukseen, olisi tärkeää pitää tutkijoita mukana korjausprojektissa myös kohteen korjausvaiheen ajan. Kuntotutkijat voivat osallistua esimerkiksi korjaussuunnittelupalaveriin. Kun tutkijat ovat mukana hankkeessa, he voivat varmistaa, että suunnittelijat huomioivat oikeat asiat ja tarvittaessa tutkijat voivat kommentoida korjausratkaisujen toimivuutta. Kun tutkijat ovat mukana, kaikki tutkimuksista saadut tiedot ovat mukana koko projektin ajan, jolloin saavutetaan yleensä paras lopputulos. Tarvittaessa tutkijat voivat varmistaa toteutetut korjausratkaisut käytännössä ja tehdä jälkitarkastuksia korjausten onnistumisen varmistamiseksi. Kuntotutkijan kustannukset ovat yleensä vain murto-osa koko korjaushankkeesta, joten tutkimuskonsultin palkkiossa säästäminen on pieni hyöty, kun vastaavasti hyvät tutkijat voivat tuottaa koko projektin kannalta oleellisia säästöjä.

## 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilmaongelmat aiheuttavat ihmisille monenlaisia oireita, eikä kaikkea oireilua ole vielä osattu yhdistää sisäilmaongelmiin. Vähiten haittaa aiheuttavat ongelmat voivat olla esimerkiksi lievää limakalvojen ärtymistä tai kuivumista, joka parantuu nopeasti kun huonoista tiloista poistutaan. Pahimmillaan sisäilmaongelmat voivat puhkaista vakavia sairauksia tai allergiareaktioita. Huonoissa olosuhteissa pitkään ollut ihminen voi herkistyä tietyille haitta-aineille niin pahasti, ettei hän voi mennä edes puhtaiksi luokiteltuihin tiloihin, koska hänen oireilukynnyksensä on laskenut niin paljon. Sisäilman aiheuttamista oireista on vaikea tehdä listaa, koska suurin osa oireista on yleisoireilua, jota ihmisille aiheuttavat monet muutkin tekijät kuin sisäilmaongelmat. Jokainen ihminen reagoi eri tavalla ja herkkyydellä haitta-aineisiin, joten samoissa tiloissa voi olla ihmisiä jotka eivät oireile ja ihmisiä jotka oireilevat.

Kaikkia haitta-aineita ei vielä välttämättä tunnetta, mutta tällä hetkellä seuraavien aineiden tiedetään aiheuttavan haittaa:

- PAH-yhdisteet,
- VOC-yhdisteet,
- radon,
- otsoni,
- hiilimonoksidi,
- ammoniakki,
- mikrobit,
- asbesti ja
- pölyt ja kuidut.

Välillisesti sisäilman laatuun ja rakenteiden toimintaan vaikuttaa lisäksi:

- hiilidioksidin määrä,
- ilmanlämpötila,
- ilmankosteus ja
- paine-erot rakenteissa.

Haitta-aineet ovat peräisin erilaisista lähteistä tai muodostuvat muun muassa seuraavista asioista:

- vanhentuneet materiaalit, joiden sidosaineet hajoavat,
- kosteusvauriot,
- rakennusvirheet,
- huono ulkoilma,
- rakennusaineet, jotka vapauttavat haitallisia päästöjä ja
- pilaantunut maaperä.

Eri haitta-aineet voivat yhdessä muodostaa lähtöaineita haitallisempia yhdisteitä, eikä kaikkia vaikutuksia tunneta vielä. Usein sisäilmaongelmat johtuvat useammasta tekijästä, joten vaikka yksi ongelma löydetään, se ei välttämättä ratkaise koko sisäilmaongelmaa.

Sisäilman ongelmien ratkaisemiseksi tutkimusmenetelmät valitaan ongelmakohtien mukaan. Tässä työssä on käsitelty mahdollisimman laajasti Suomessa käytössä olevia tutkimusmenetelmiä ja niiden antamien tulosten raja-arvoja. Ennen sisäilmatutkimusten tekemistä tulee tehdä tutkimussuunnitelma, jossa valitaan tutkimuksen laajuus ja käytettävät tutkimusmenetelmät. Tutkimusten edetessä laajuutta ja tutkimusmenetelmiä voidaan laajentaa tai supistaa tarpeen mukaan.

Kuntotutkimusten ja sisäilmatutkimusten suorittaminen vaatii hyvää tietopohjaa rakennusalan toiminnasta ja rakentamisesta kautta historian. Pelkästi tämän tutkimuksen tiedoilla ei voida suorittaa sisäilmatutkimuksia, mutta tämä tutkimus toimii sisäilmatutkimuksien kattavana perustietolähteenä ja oppaana.

Tutkimustyössä haasteelliseksi osoittautui aiheen laajuus. Tavoitteena oli kehittää selkeä ja lyhyt ohjeistus eri sisäilmaongelmien tutkimusmenetelmistä. Aiheen monimuotoisuus ja laaja tutkimusmenetelmävalikoima, joissa eri tutkimusmenetelmät linkittyvät toisiinsa osoittivat, että yksinkertaisen lyhyen ohjeen luominen on mahdotonta. Sisäilmatutkijan tulee ottaa huomioon aina tutkittavan rakennuksen kokonaisuus ja sen perusteella suunniteltava tutkimuskokonaisuus. Tutkimustuloksena työssä päivitettiin myös Asumis- ja terveysoppaan osaa ohjeistuksista ja syvennettiin tutkimusmenetelmien tietoja. Eri tutkimusmenetelmistä on koottu tietoutta mahdollisimman laajasti käyttökokemusten ja kirjallisuuden perusteella.

Sisäilmatutkimusten yksi haastavimmista asioista on osata valita oikeat tutkimusmuodot erilaisille ongelmille. Oikeiden tutkimusmenetelmien valinta vaatii tiedon kaikista mahdollisista menetelmistä, ja tiedon mitä ja miten niillä voidaan havainnoida erilaisia asioita.

Raja-arvot ovat tällä hetkellä hyvin sekavia ja harvoin tutkimusmenetelmiin löytyy selvät ja tarkat raja-arvot, joiden ylittyessä voidaan tehdä yksiselitteiset johtopäätökset sisäilman terveellisyydestä tai laadusta. Selkeitä raja-arvoja tullaan tuskin koskaan löytämään, sillä eri ihmiset reagoivat erilailla eri aineisiin ja niiden pitoisuuksiin. Tulkinnoissa pitää aina huomioida tutkittavan kohteen kokonaisuus ja käyttötarkoitus. Usein tulee vastaan tilanteita, jolloin esitetyt raja-arvot eivät ylity, mutta tiloissa havaitaan silti oireilua. Tällaisissa tilanteissa tulee miettiä, onko jotain mahdollisia haittatekijöitä jäänyt tutkimatta vai onko jo löydetty haitta-ainepitoisuudet sittenkin ongelmien aiheuttajia. Jossain tapauksissa oireilevat käyttäjät voivat olla altistuneet niin pahasti menneisyydessä tietyille aineille, että he saavat oireita jo pelkkien samojen aineiden olemassaolosta tiloissa. Tällaisissa tilanteissa voidaan päätyä lopputulokseen, että tutkittava rakennus on hyväksyttävässä kunnossa, mutta pieni osa ihmisistä ei voi siellä oleilla.

Terveydensuojelulaki esittää vaatimuksia sisäilmalle. Sen mukaan sisätilan ilman tulee puhtaudeltaan olla sellaista, että siitä ei aiheudu tilassa oleskeleville terveyshaittaa.

Ongelma on, ettei kaikkia sisäilman häiritseviä tekijöitä tunneta ja esimerkiksi mikrobeista ja niiden mahdollisista terveyshaitoista tiedetään vain murto-osa. Yksittäisen ihmisen rakennuksesta johtuvan terveyshaitan osoittaminen tiettyyn rakennukseen voi olla hyvin vaikeaa, sillä oireilu voi johtua muistakin rakennuksista kuin tutkittavasta. Ihminen viettää ajastaan noin 90 % sisällä eri rakennuksissa ja pahimmillaan oireilu voi johtua eri rakennusten häiritsevien aineiden altistusten yhdistelmästä. Rakennusten terveellisyyttä arvioidessa tulee tehdä yhteistyötä terveysviranomaisten kanssa, sillä sisäilmatutkijat tutkivat rakennuksia teknisesti eikä ihmisten terveyttä.

Sisäilmatutkimuksia suorittaessa tutkijat kohtaavat väkisin tilanteita, joissa tutkimusmenetelmiä joudutaan muokkaamaan tai soveltamaan käytännön syistä. Tällaisissa tilanteissa tutkijoilla pitää olla tietoa siitä, mitä asioita voidaan tehdä toisin kun tutkimusmenetelmissä ohjeistetaan, jotta tuloksia voidaan vielä tulkita oikein.

Onnistunut tutkimushanke vaatii oikeita toimenpiteitä niin tilaajalta kuin tutkijaorganisaatiolta. Tilaajan tulee ymmärtää mistä sisäilmatutkimuksissa on kyse, jotta se osaa lähestyä tutkimuksia tarjoavia organisaatioita. Sujuva yhteistyö on tutkimushankkeen onnistumisen kannalta tärkeä asia. Tilaaja pystyy omalla toiminnallaan estämään tai rajaamaan tutkimuksia liikaa, jolloin ei voida onnistua ongelman ratkaisussa. Tutkimusorganisaatiolle on tärkeää osata kertoa ja tarjota oikeita sekä tarkoitukseen sopivia tutkimusmenetelmiä ongelman ratkaisemiseen mahdollisimman taloudellisesti. Hyvällä tiedonkululla tutkijoiden ja tilaajan välillä pystytään reagoimaan nopeasti mahdollisiin muutoksiin ja yllättäviin tilanteisiin. Tiedonkulkuun kuuluu isona osana tutkimustulosten esittäminen ja toimittaminen ymmärrettävällä tavalla tilaajalle, jotta tilaaja pystyy tekemään omat johtopäätökset oikein. Usein, jos tutkimukset johtavat korjaustoimenpiteisiin, on tutkijoita hyvä käyttää asiantuntijoina korjaushankkeen edetessä. Pitkäkestoinen yhteistyö varmistaa kaiken mahdollisen tiedon siirtymisen tutkijoilta käytännön korjaustoimenpiteisiin.

Kun tieto ja tutkimusmenetelmät sisäilmaongelmista lisääntyvät, pystytään vaikeitaakin ongelmia ratkaisemaan tarkemmin ja tehokkaammin. Huonosta sisäilmasta aiheutuvat välilliset kustannukset ihmisille, yrityksille ja valtiolle ovat todella merkittäviä, joten tutkimushankkeisiin kannattaa sijoittaa resursseja. Tällä hetkellä huonoja sisäilmauutisia voi lukea jatkuvasti lehdistä, mutta osa syynä on myös se, että rakennuksia on alettu tutkimaan enemmän, jolloin myös ongelmia löydetään. Nykyään sisäilmaa osataan epäillä myös helpommin oireiden aiheuttajiksi kuin ennen. Sisäilma-asiaan suhtaudutaan vakavammin, kun tiedetään mahdolliset terveysseuraukset.

## LÄHTEET

2013/59/EURATOM. Euroopan unioni. 2013. Direktiivi, Neuvoston direktiivi. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:FI:PDF>. 73 s.

Eurofins. 2014. Ympäristöanalyysit. [WWW] Saatavissa: <http://www.eurofins.fi/palvelumme/ymparistoanalyysit.aspx>. Luettu 10.10.2014.

Evira. 2014. PAH-yhdisteet (Polysykliset aromaattiset hiilivedyt). [WWW] Saatavilla: <http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/asiakokonaisuudet/vierasaineet/tietoa+vieraasaineista/pah-yhdisteet/>. Luettu 8.12.2014.

Finna. 2014. Psykrometri. [WWW] Saatavissa: <https://www.finna.fi/Record/lusto.M011-385517>. Luettu 1.11.2014.

Hallituksen esitys. (2014) Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi terveydensuojelulain muuttamisesta (Eduskunta). HE 76/2014 vp. [WWW] Saatavilla: [http://www.eduskunta.fi/triphome/bin/thw/?\\${APPL}=akirjat&\\${BASE}=akirjat&\\${THWIDS}=0.18/1426410258\\_40153&\\${TRIPPIFE}=PDF.pdf](http://www.eduskunta.fi/triphome/bin/thw/?${APPL}=akirjat&${BASE}=akirjat&${THWIDS}=0.18/1426410258_40153&${TRIPPIFE}=PDF.pdf). Luettu 15.3.2015

Hengityслиitto. 2014a. VOC-päästöt. [WWW] Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/hengityслиilma/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautet/voc-paastot>. Luettu 6.10.2014.

Hengityслиitto. 2014b. Hiilimonoksidi eli häkä (CO). [WWW] Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmansaasteet/hiilimonoksidi-eli-haka-co>. Luettu 15.12.2014.

Hengityслиitto. 2014c. Styreeni. [WWW] Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautet/styreeni>. Luettu 15.12.2014.

Hengityслиitto. 2014d. Ammoniakki. [WWW] Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautet/ammoniakki>. Luettu 16.12.2014.

Hengityслиitto. 2014e. Formaldehydi. [WWW] Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautet/formaldehydi>. Luettu 17.12.2014.

Hengityслиitto. 2014f. Sisäilmaongelma työpaikalla – kuka vastaa mistäkin? [WWW] Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/tyopaikalla-sisailmaongelma-kuka-vastaa-mistakin>. Luettu 10.10.2014.

Hiltunen, Kaisa. 2000. Sisäilman ammoniakki suomalaisissa asunnoissa. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2000. Saatavissa: <http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-02-00.pdf>. 52 s.

Hintikka, Tuomas. 2013. Tiiviysmittaukset sisäilmastoteknisissä selvitystöissä: Ilma-  
vuotoa osoittavat merkkiainelaitteistot. Opinnäytetyö, Metropolia. Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67564/Hintikka\\_Tuomas.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67564/Hintikka_Tuomas.pdf?sequence=1). 80 s.

Holopainen, R., Pasanen, P., Railio, J., Säteri, J. & Virranta, P.. 2012. Ilmanvaihtojärjestelmän Puhdistus ja Tasapainotus, Tavoitteena hyvä ja energiataloudellinen sisäilmasto. Opetushallitus. JuvenesPrint. 2. uudistettu painos. 135 s.

Ilmatieteen laitos. 2014a. Ilmakehä-ABC. [WWW] Saatavissa: [http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc?p\\_p\\_id=abc\\_WAR\\_fmiwwportlets&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&\\_abc\\_WAR\\_fmiwwportlets\\_selectedInitial=I](http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc?p_p_id=abc_WAR_fmiwwportlets&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&_abc_WAR_fmiwwportlets_selectedInitial=I). Luettu 6.8.2014.

Ilmatieteen laitos. 2014b. Otsoni ilmansaasteena. [WWW] Saatavissa: [http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/otsoni\\_ilmansaasteena.php](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/otsoni_ilmansaasteena.php). Luettu 7.8.2014.

Ilmatieteen laitos. 2014c. Miten säätä havainnoidaan Ilmatieteen laitoksessa? [WWW] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/saahavainnot>. 6.8.2014.

Infrared Training Center. 2011. Lämpökuvauskurssi, ITC Level, 1. Kurssimateriaali. Infradex Oy. Vantaa. Yksityinen julkaisu.

Jyväskylän Viiniklubi ry. 2014. Viininmaistelun perusteet. [WWW] Saatavissa: <http://www.jklviiniklubi.org/perusteet.htm>. Luettu 10.10.2014.

Komulainen, Hannu. 2013. Uraani ja mangaani talousvedessä – onko terveysriski?. Ympäristöterveyden osasto. Kuopio. Saatavissa: <https://www.thl.fi/documents/10531/1449887/Uraani+ja+mangaani.pdf/28fe2ae3-b3f5-47c1-8261-83f11fee048c>.

Kuningastalot Oy. 2015. Kuvamateriaalia Kuningastalojen työkohteista vuodelta 2015.

Leppänen, Kim. 2014. Rakennusten tiiviysmittauksiin vaikuttavat tekijät ja virhelähteet. Kandidaatintyö, TTY. 28 s.

Malka, H. & Sundström, K. 2004. Rakennuksen sisäilma. Diplomityö TTY. 289 s.

Merikallio, Tarja. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus ry. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. ISBN 952-5075-45-1. 62 s.

Norketek Oy. 2014. Otsonimittari. [WWW] Saatavissa: <http://www.norketek.fi/otsonimittari.html>. Luettu 1.12.2014.

Ovaska, Saili. 2012. Johdatus vuorovaikutteiseen teknologiaan. Informaatiotieteiden yksikkö, Tampereen yliopisto. Saatavissa: [http://www.uta.fi/sis/tie/jovuot/syksy\\_2012/Luennot/6\\_nakoaisti-2.pdf](http://www.uta.fi/sis/tie/jovuot/syksy_2012/Luennot/6_nakoaisti-2.pdf). 39 s.

Paloniitty, Sauli & Timo Kauppinen. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Suomen rakennusmedia Oy. Porvoo. Bookwell Oy. ISBN 978-952-5472-44-8. 120 s.

Paloniitty, Sauli. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Suomen rakennusmedia Oy. Tampere. Tammerprint Oy. 92 s.

Pentti, Matti. 2012a. Rakenteiden historia. Tampereen teknillinen yliopisto kurssimateriaali, Rakennustekniikanlaitos. Tampere. 90 s.

Pentti, Matti. 2012b. Kuntotutkimukset. Tampereen teknillinen yliopisto kurssimateriaali, Rakennustekniikanlaitos. Tampere. 33 s.

Puhakka, E. & Kärkkäinen, J. 1994. Rakentamisen tavoitteena puhdas sisäilmasto. Jyväskylä, Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy. 173 s.

Puhakka, E., Bäck, B., Kalso, S., Vahanen, R., Viitanen, H., Arvela, H., Voutiainen, A., Ruotsalainen, R., Koukila-Kähkölä, P., Sarekoski, K. & Kärkkäinen, J. 1996. Terveellinen sisäilma. Sisäilmatietokeskus. 234 s.

Putus, Tuula. 2014. Home ja terveys – Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen ja terveyshaitat. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan kustannus Oy. Pori. Vammalan Kirjapaino Oy. Uudistettupainos. 144 s.

Raimo, O. & Pennanen, A.. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tekes. Helsinki. Libris Oy. ISBN 952-457-250-8. Saatavissa: [https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/fine\\_terveys.pdf](https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/fine_terveys.pdf). 36 s.



Rakennustieto. 2014. M1-vaatimukset ja luokiteltujen tuotteiden käyttö. [WWW] Saatavissa:

<https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto/rakennusmateriaalienpaastoluokitus/m1-vaatimuksetjaluokiteltujentuotteidenkaytto.html>. Luettu 20.12.2014.

Rakentaja.fi. 2014. Häkä tappaa! [WWW] Saatavissa:

[http://www.rakentaja.fi/artikkelit/4757/haka\\_tappaa.htm](http://www.rakentaja.fi/artikkelit/4757/haka_tappaa.htm). Luettu 10.8.2014.

RakMK D2. 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 1/11 Ympäristöministeriön asetus. Helsinki. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). 34 s.

RakMK D3. 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. 2/11 Ympäristöministeriön asetus. Helsinki. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf). 35 s.

Rateko. 2014. a-vaatimusluokan kosteusteknisen kuntotutkijan ja/tai korjaussuunnittelijan pätevyitysmiskoulutus- luentomateriaali. Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO.

Ratu 1213-S. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus, Lämpökuvaus, raportointi ja tilaaminen. Rakennusteollisuus RT ry. 32 s.

Salonen, RO. 2004. Puun pienpolton terveyshaitat [PDF] Ympäristö ja terveys. 9 s.

Saxholm, Sari & Rantanen, Markku. 2011. Paineen mittaus. Mittatekniikan keskus. Espoo. Saatavissa: [http://81.209.67.238/mikes/Oppaat/J1\\_2011\\_Paineen\\_mittaus.pdf](http://81.209.67.238/mikes/Oppaat/J1_2011_Paineen_mittaus.pdf). 41 s.

Sensorex Oy. 2014. Kaasunilmaisimien: Ammoniakki (NH<sub>3</sub>). Tuote-esite. Saatavissa: <http://www.sensorex.fi/Pdf/SX482%20NH3%20fin.pdf>. 1 s.

Seuri, M & Palomäki, J 2000. Haasteellinen sisäilma. Rakennustieto Oy. 138 s

Siren, Margit. 2014. Radonmittausmenetelmien ja –prosessien vertailu. Opinnäytetyö, Tamk. 74 s.

Sisäilmakeskus. 2015. Ennakoiva sisäilmatyöryhmätoiminta. [WWW] Saatavissa: <http://sisailmakeskus.fi/palvelut/ennakoiva-sisailmatyoryhma/>. Luettu 29.12.2015.

Sisäilmayhdistys. 2014a. Kemiaalliset epäpuhtaudet. [WWW] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/kemiaalliset-epapuhtaudet/>. Luettu 5.12.2014.

Sisäilmayhdistys. 2014b. Sisäilma- ja oirekyselyt. [WWW] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/ongelmien-tutkiminen/terveydelliset-tutkimukset/sisailma-ja-oirekyselyt/>. Luettu 6.7.2014.

Sisäilmayhdistys. 2014c. Ilmanvirtaus ja paine-ero. [WWW] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/ongelmien-tutkiminen/rakennustekniset-tutkimukset/ilmavirtaus-ja-paine-ero/>. Luettu 10.10.2014.

Sisäilmayhdistys. 2015. Mikrobin terveyshaitat. [WWW] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobin-terveyshaitat>. Luettu 29.12.2015.

Sisäilmayhdistys. 2015. Örebro- ja muut kyselyt. [WWW] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Terveydelliset-tutkimukset/Orebro-ja-muut-kyselyt>. Luettu 10.12.2015.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje, Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki. ISBN 952-00-ISSN 1236-116X. 88 s.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2014. HTP-arvot 2014 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki. Suomen Yliopistopaino Oy. ISBN 978-952-00-3480-1. ISSN 1236-2050. Saatavissa:

[http://www.stm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=9882186&name=DLFE-30018.pdf](http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=9882186&name=DLFE-30018.pdf). 97 s.

STMp 944/1992. Sosiaali- ja terveysministeriö. 1992. Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista. Helsinki. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920944>.

STUK. 2014a. Radon. [WWW] Saatavissa: [http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi\\_FI/radon/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi_FI/radon/). Luettu 12.12.2014.

STUK. 2014b. STUKin hyväksymät radonmittausmenetelmät. [WWW] Saatavissa: [http://www.stuk.fi/proinfo/valvonta/luonnonsateily/radon\\_tyopaikoilla/fi\\_FI/radonin\\_mittaaminen/](http://www.stuk.fi/proinfo/valvonta/luonnonsateily/radon_tyopaikoilla/fi_FI/radonin_mittaaminen/). Luettu 13.12.2014.

STUK. 2015. Radon Suomessa. [WWW] Saatavissa: <http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa>. Luettu 10.1.2015.

Suomen standardisoimisliitto. 2001. SI opas, Suureet ja yksiköt, SI-mittayksikköjärjestelmä. 35 s.

Säteri, Jorma. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008, Sisäympäristön uudet tavoitearvot. Sisäilmayhdistys. Espoo. Saatavissa: <http://whm12.louhi.net/~sisailma/wp-content/uploads/2013/03/sisailmastoluokitus2008-esittely.pdf>. 7 s.

Säteri, S. & Backman, H.. 2014. Sisäilmastoseminaari 2014. Sisäilmayhdistys ry. Sisäilmayhdistys raportti 32. ISSN 1237-1866. ISBN 978-952-5236-42-2. Juva. Painopaikka Bookwell Oy. 384 s.

Syöpäinfo.fi. 2015. Soluvaurioista syövän syntyyn. [WWW] Saatavissa: <http://www.syopainfo.fi/yleiskatsaus-syopiin/mika-syopa-on.html>

Talvitie, O. 2013. Näytteenotto-ohjeet rakennusten mikrobitutkimuksissa. Turun yliopiston ympäristöntutkimuskeskus Aerobiologian yksikkö. Saatavissa: <http://www.utu.fi/fi/yksikot/tyyk/aerobiologia/rakennusmikrobiologia/Documents/N%C3%A4ytteenotto-ohjeet%20rakennusten%20mikrobitutkimuksissa.pdf>. 16 s.

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2015. Terveyshaitan toteaminen. [WWW] Saatavissa: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma/hometalo-ja-kosteusvaurio/terveyshaitan-toteaminen>. Luettu 12.11.2015.

Tukes. 2014. Kemikaalien yhteisvaikutukset. [WWW] Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Teollisuus--ja-kuluttajakemikaalit/Kemikaalien-yhteisvaikutukset/>. Luettu 8.10.2014.

Turun yliopisto. 2014a. Testausseloste, Materiaalinäyte, laimennusviljely. TYYK, Aerobiologian yksikkö. Yksityinen julkaisu. 12 s.

Turun yliopisto. 2014b. Testausseloste, Ilmanäyte 6-vaiheimpaktiokerääjällä. TYYK, Aerobiologian yksikkö. Yksityinen julkaisu. 11 s.

Työsuojeluhallinto. 2014. Asbesti. [WWW] Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/fi/asbesti>. Luettu 20.11.2014.

Työterveyslaitos. 2012. Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH) näytteenotto ilmasta. Näytteenotto-ohje. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/kemikaalit\\_ja\\_polyt/kemian\\_analyysit/Documents/PAH%20n%C3%A4ytteenotto.pdf](http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/kemikaalit_ja_polyt/kemian_analyysit/Documents/PAH%20n%C3%A4ytteenotto.pdf). 1 s.

Työterveyslaitos. 2014a. PAH –yhdisteet ja niiden esiintyminen. [WWW] Saatavilla: [http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista\\_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet\\_ja\\_niiden\\_esiintyminen/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet_ja_niiden_esiintyminen/Sivut/default.aspx). Luettu 12.12.2014.

Työterveyslaitos. 2014b. Otsoni. [WWW] Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman\\_epapuhautaudet/otsoni/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/otsoni/sivut/default.aspx). Luettu 1.12.2014.

Työterveyslaitos. 2014c. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). [WWW] Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman\\_epapuhautaudet/voc/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/voc/Sivut/default.aspx). Luettu 6.10.2014.

Työterveyslaitos. 2014d. Eristevillat (mineraalivillat). [WWW] Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset\\_aineet/eristeaineet/eristevillat/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/eristeaineet/eristevillat/Sivut/default.aspx). Luettu 10.8.2014.

Työterveyslaitos. 2014e. OVA-ohje: Styreeni. [WWW] Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/styreeni.html>. Luettu. 10.12.2014.

Työterveyslaitos. 2014f. OVA-ohje: Ammoniakki. [WWW] Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/ammoni.html>. Luettu. 10.12.2014.

Vaisala. 2012. Vaisala / teknologiakuvaus Vaisala HUMICAP-anturin suhteellisen kosteuden (RH) mittaamiseen. Saatavissa: <http://www.vaisala.fi/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/HUMICAP-Technology-description-B210781FI-C.pdf>. 2 s.

Vaisala. 2013. Vaisala / sovelluskuvaus, Hiilidioksidin mittaaminen. Saatavissa: <http://www.vaisala.fi/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228FI-A.pdf>. Opas. 4s.

Valtioneuvos. 2010. Toimenpiteet rakennusten kosteusvaurioiden ja niiden aiheuttamien terveyshaittojen vähentämiseksi. Valtioneuvoston periaatepäätös. 5 s.

Valvira. 2011. Lausunto VOC –mittaustulosten tulkinnasta asuntojen terveyshaittasioissa. Lausunto. Dnro 6195/11.02.02.00/2011. Saatavissa: [http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC\\_lausunto\\_ESAVI.pdf](http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC_lausunto_ESAVI.pdf). 6 s.

Valvira. 2014a. Radon. [WWW] Saatavissa: [http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/radon](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/radon). Luettu 12.12.2014.

Valvira. 2014b. Epäorgaaniset yhdisteet. [WWW] Saatavissa: [http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit/epaorgaaniset\\_yhdisteet](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit/epaorgaaniset_yhdisteet). Luettu 13.12.2014.

Valvira. 2014c. Orgaaniset yhdisteet. [WWW] Saatavissa: [http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit/orgaaniset\\_yhdisteet](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit/orgaaniset_yhdisteet). Luettu 14.12.2014.

Valvira. 2014d. Pienhiukkaset. [WWW] Saatavissa: [http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/hiukkaset\\_ja\\_kuidut/pienhiukkaset](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/hiukkaset_ja_kuidut/pienhiukkaset). Luettu 16.12.2014.

Vikström, Kari. 1993. Asbesti asuinkerrostalossa. Rakennustieto. Helsinki. ISBN 9516822614 155 s.

Viljanen, M. Kettunen, A. Kauriinvaha, E. Bergman, J. Laamanen, P. Nevalainen, A. Hyvärinen, A., & Meklin, T.. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus, Kuntotutkimuksen suunnittelu ja toteutus, Vaurioitumisen arviointiperusteet ja korjaustavan valinta, Ympäristöopas 28. Ympäristöministeriö. Helsinki. ISSN 1238-8602. ISBN 951-682-468-4. 143 s.

Vinha, J., Tuominen, T., Kurnitski, J., Korpi, M. & Mattila, J.. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. RT 80-10974. LVI 01-10450. Rakennustieto Oy. 24 s.

Vinha, Juha. (2011). RTEK-3511 Rakennusfysiikka. Rakennustekniikan laitos. 521 s.

WSP Finland Oy. 2014. VOC- näytteenotto-ohje. Yksityinen julkaisu. 4 s.

VTT Expert Services Oy. 2015. Sertifikaatit ja hyväksynnät. [WWW] Saatavissa: <http://www.vttexpertservices.fi/sertifikaatit>. Luettu 10.1.2015.

Yle Oppiminen ja ympäristö. 2015. Ihmisen biologia (BI4). [WWW] Saatavissa: <http://oppiminen.yle.fi/abitreenit/biologia/ihmisen-biologia-bi4>. Luettu 12.12.2014

Ympäristö ja Terveys-lehti. 2009. Asumisterveysopas. Ympäristö ja Terveys-lehti. Ykkös-Offset Oy. Vaasa ISBN 978-952-9637-38-6. 200 s.

Ympäristö.fi. 2014. Pilaantuneet maa-alueet. [WWW] Saatavilla: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet). Luettu 1.12.2014.

**HAASTATTELUT:**

Fränti, Markus. 2014. DI. WSP Finland Oy. Tampere. Haastattelu. 6.10.2014

Koskinen, Jaakko. 2014. TkK WSP Finland Oy. Tampere. Haastattelu 7.10.2014

Paasivirta, Tommi. ins (AMK) WSP Finland Oy. Tampere. Haastattelu 10.10.2014

Suonketo, Jommi. 2015. DI. TTY. Tampere. Sähköpostikysely kosteusmittaus osion tarkastamiseksi. 13.1.2015

## LIITTEET

### Liite 1 Haastattelukysymykset

#### Haastateltavat

Fränti, Markus. 2014. DI. WSP Finland Oy. Tampere. Haastattelu. 6.10.2014

Koskinen, Jaakko. 2014. TkK WSP Finland Oy. Tampere. Haastattelu 7.10.2014

Paasivirta, Tommi. ins (AMK) WSP Finland Oy. Tampere. Haastattelu 10.10.2014

#### Kysymykset Fränti Markus ja Koskinen Jaakko:

- 1) Mitä tietoja ja taitoja kunto- ja sisäilmatutkijalta vaaditaan?
- 2) Mitä tulee huomioida kunto- ja sisäilmatutkimusten rajaamisessa?
- 3) Mitä erityispiirteitä sisäilmatutkimuksissa on?
- 4) Miten tutkimustulokset on hyvä kertoa tai esittää tilaajille, käyttäjille ja muille tahoille? Mitä asioita tulee huomioida tulosten esittämisessä?
- 5) Mitä lähtötietoja käytät tai selvität ennen kunto- ja sisäilmatutkimuksia?
- 6) Onko hajuaisti ja yleensä aistinvarainen tutkiminen luotettavia tutkimustapoja mielestäsi?
- 7) Ovatko asumisterveysoppaan tutkimusmenetelmät ainoita tutkimusmenetelmiä vai käytätkö muitakin tutkimuskeinoja?
- 8) Mitä mieltä olet tutkimusmenetelmien raja-arvoista ja niiden tulkitsemisesta?
- 9) Mitä asioita tulee huomioida mikrobinäytteiden tulkinnassa
- 10) Miten mittauksen ja tutkimuksen kesto ja otanta vaikuttaa niiden luotettavuuteen (mikrobit, ilmanäytteet, asbesti, VOC, PAH)?
- 11) Mitä asioita tulee huomioida rakenneavauksia tehdessä?
- 12) Tulisiko sisäilmatutkijan tehdä yhteistyötä muiden ammattilaisten tai tahojen kanssa? Jos, niin keiden ja miksi?
- 13) Mitä asioita tulee huomioida näytteiden ottamisessa (mikrobinäyte, ilmanäyte, voc, pah, pöly ja asbesti)?
- 14) Mitä vaikutusta ilmavuodoilla on sisäilman laatuun?
- 15) Miten tutkit tai selvität rakennuksen paine-eroja?
- 16) Mitkä ovat sisäilmatutkimusten vaiheet?
- 17) Mitä mieltä olet tutkijan kokemuksen merkityksestä sisäilmatutkimuksissa?
- 18) Mitä menetelmiä käytät kosteuden selvittämiseksi rakenteista?
- 19) Eliöiden ja eläinten vaikutus tutkimuksiin ja sisäilman laatuun?

#### Kysymys Paasivirta Tommi

- 1) Mitkä ovat tärkeimmät tutkittavat asiat IV-tutkijan kannalta sisäilmatutkimuksissa?
- 2) Mitä asioita sisäilmatutkijan tulisi tutkia ilmanvaihdesta?